

**EFEITOS DA SÍSMICA COM CABO DE FUNDO SOBRE PEIXES  
RECIFAIS**

**CURITIBA**

**2006**

**MARCELO FARIA CARDOSO**



## PARECER

A Comissão Examinadora da Defesa de Dissertação do Candidato ao Título de Mestre em Ciências Veterinárias, Área Produção Animal **MARCELO FARIA CARDOSO** após a realização desse evento, exarou o seguinte Parecer:

- 1) A Dissertação, intitulada **“EFEITOS DA SÍSMICA COM CABOS DE FUNDO SOBRE PEIXES RECIFAIS”** foi considerada, por todos os Examinadores, como um louvável trabalho, encerrando resultados que representam importante progresso na área de sua pertinência.
- 2) O Candidato apresentou-se muito bem durante a Defesa da Dissertação, respondendo a todas as questões que foram colocadas.

Assim, a Comissão Examinadora, ante os méritos demonstrados pelo Candidato, e de acordo com o Art. 78 da Resolução nº 62/03 – CEPE considerou o candidato APROVADO concluindo que faz jus ao Título de Mestre em Ciências Veterinárias, Área Produção Animal.

Curitiba, 24 de julho de 2006.

  
Prof. Dr. Antonio Ostrensky Neto  
Presidente/Orientador

  
Prof. Dr. José Milton Andriguetto Filho  
Membro

  
Dr. Ariel Scheffer da Silva  
Membro

# **EFEITOS DA SÍSMICA COM CABO DE FUNDO SOBRE PEIXES RECIFAIS**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre pelo Curso de Pós-Graduação em Ciências Veterinária – Área Produção Animal do Setor de Zootecnia da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Ostrensky

**CURITIBA**

**2006**

MARCELO FARIA CARDOSO

## EFEITOS DA SÍSMICA COM CABO DE FUNDO SOBRE PEIXES RECIFAIS

Dissertação para requisito parcial para obtenção  
do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Medicina Veterinária  
da Universidade Federal do Paraná,  
pela Comissão formada pelos professores:

---

Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

---

---

---

Julho de 2006

## **EPIGRAFE**

Em primeiro lugar: Fique atento, para nunca fazer mal para ninguém.

Em segundo: Procure sempre que possível ajudar o próximo.

Somente fazendo isso 50% do caminho com DEUS você já alcançou.

Se você conciliar bom senso e espírito crítico para saber avaliar seus defeitos e procurar melhorar, evoluindo um pouco a cada dia, tenha certeza de que você estará fazendo o mínimo para alcançar o Reino dos Céus.

Marcelo F. Cardoso.

## AGRADECIMENTOS

Como não poderia deixar de ser, em primeiro lugar gostaria de agradecer a DEUS, por todas as oportunidades que me proporcionou e pela força de vontade para seguir em frente em todos os momentos difíceis, do início da minha jornada acadêmica.

A toda minha família, meu pai Alcides Cardoso, minha mãe Maria Regina Faria Cardoso, meus irmãos, Marta Oliveira Mendes, Daniel Faria Cardoso e Fabiano Faria Cardoso, pela paciência, incentivo e estrutura que me proporcionaram para que eu pudesse cumprir com sucesso essa etapa da minha vida. As minhas filhas, Isabelle Luiza Duarte Cardoso e Clara Lua Muniz Cardoso que sempre foram minhas principais fontes de inspiração. A Fabíola Fagundes Muniz, Nadir e Leonardo Gonçalves pela sua compreensão nos momentos que precisei.

Gostaria de agradecer muitíssimo as pessoas que com certeza foram os maiores responsáveis pela realização dessa dissertação, demonstrando serem uma enorme fonte de conhecimento e incentivadores de muita seriedade e ética para o desenvolvimento da comunidade científica, Drs. Antonio Ostrensky, Walter Boeger e Márcio Pie.

Um agradecimento especial a toda comunidade de Garapuá-BA, principalmente nossa equipe de trabalho, Newton Spohlz, Rogério Vianna, Raimundo, Gerinho, Babau e Gaúcho que sempre foram parceiros fiéis e responsáveis na execução de todos os trabalhos e realização dos experimentos.

Aos funcionários e novos amigos da empresa Grant Geophysical, que nos ajudaram e facilitaram todos os procedimentos no processo de coleta de dados.

A todos os técnicos do IBAMA e representantes das comunidades que contribuíram para autenticidade dos trabalhos realizados.

A todos meus amigos do Grupo Integrado de Aquicultura e Estudos Ambientais, Fábio Xavier Wegbecher, Robson Ventura, Julio Padini, Robert Willian Pilchowski, Leandro Ângelo Pereira, Francisco Franceschi, Débora Pestana, Paulo Vicente Costa, Ubiratã Assis Teixeira da Silva e principalmente Gisele Geraldine Castilho, que em todas as vezes que precisei, me auxiliou, com muita paciência e didática no esclarecimento de dúvidas e dificuldades durante esse percurso.

Aos meus melhores amigos, que sempre estiveram presentes nos momentos de descontração me ajudando a relaxar das horas de stress, Daniel, Werner e Luciana Bruinjé; Maurício Ishi; Marcelo e Fernando Perusso; Cristiano Ashinger; Franco, Bruno e Vitória Porucine; André e Daniel Kravetz; Michele Ultrabo; Paulo, Andréia e Alessandra de Tarso; Cláudio Bremm, Juliano e Cláudio Loureiro, Samir Tebecherani; Alfredo Caetano dos Santos; José Carvalho e Israel Kravetz (que sempre arrumavam meu computador na faixa), Eduardo Seixas; Vicente Vechi.

## Sumário

Índice de Figuras .....	IX
Índice de Tabelas .....	XII
1. RESUMO .....	13
2. ABSTRACT .....	14
3. MONITORAMENTO DOS IMPACTOS DA PROSPECÇÃO SÍSMICA EXPLORATÓRIA 3D COM CABO DE FUNDO SOBRE PEIXES MARINHOS DE INTERESSE COMERCIAL .....	17
3.1. Introdução .....	18
3.2. Material e métodos.....	18
3.2.1. Metodologia amostral.....	18
3.2.2. Análises histológicas.....	21
Alterações Branquiais.....	22
Alterações Encontradas na Bexiga Natatória .....	22
Alterações Hepáticas .....	23
3.2.3. Análises Estatísticas .....	23
3.3. Resultados .....	24
3.3.1. Brânquias .....	24
3.3.2. Fígado.....	26
3.3.3. Bexiga Natatória .....	28
3.4. Discussão .....	28
4. AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DOS EFEITOS DA PROSPECÇÃO SÍSMICA COM CABO DE FUNDO SOBRE PEIXES MARINHOS.....	36
4.1. Introdução .....	37
4.2. Material e métodos.....	38
4.2.1. Local de realização do experimento.....	38
4.2.2. Espécies utilizadas .....	38
4.2.3. Coleta e manutenção dos peixes .....	38
4.2.4. Metodologia experimental .....	39
4.2.5. Análises histológicas.....	43
Alterações Branquiais.....	43
Alterações Encontradas na Bexiga Natatória .....	43
Alterações Hepáticas .....	44
4.2.6. Análises Estatísticas .....	44
4.3. Resultados e discussão.....	45
4.3.1. Sobrevivência dos peixes utilizados no experimento.....	45

4.3.2.	Impactos nas Brânquias.....	45
4.3.3.	Impactos na Bexiga Natatória .....	45
4.3.4.	Impactos no Fígado .....	48
4.3.5.	Análise geral dos resultados obtidos no experimento .....	59
5.	AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE PEIXES RECIFAIS EXPOSTOS AOS DISPAROS SÍSMICOS.....	65
5.1.	Introdução .....	66
5.2.	Material e Métodos .....	67
5.2.1.	Primeira configuração .....	68
5.2.2.	Segunda configuração .....	68
5.2.3.	Terceira configuração.....	69
5.3.	Resultados e Discussão.....	70
6.	CONCLUSÃO GERAL .....	81



## Índice de Figuras

Figura 1. Identificação das áreas onde foi realizado o monitoramento dos efeitos da sísmica com cabo de fundo sobre peixes. ....	20
Figura 2. O navio Tropicaliente (Gun-Boat), responsável pela geração dos disparos sísmicos, durante os trabalhos monitorados (A) e bóias de sustentação dos canhões de ar e bolhas no momento dos disparos (B). ....	20
Figura 3. Variação temporal dos IIBr.....	25
Figura 4. Presença de vacúolos intracitoplasmáticos em hepatócitos, comparação do IIF dos peixes capturados na área controle e área referência. ....	27
Figura 5. Distribuição temporal para o IIF presença de vacúolos intracitoplasmáticos em hepatócitos, figura A área referência; figura B área controle.....	28
Figura 6. Identificação dos locais onde foram realizados os experimentos em que os peixes, mantidos em gaiolas, foram expostos diretamente aos disparos sísmicos. ..	39
Figura 7. Gaiolas de 1m3 utilizadas no experimento de exposição dos peixes aos disparos sísmicos.....	40
Figura 8. Representação esquemática do delineamento experimental adotado para avaliação dos efeitos dos disparos sísmicos sobre os peixes. ....	41
Figura 9. Tanques-rede montados próximo a Guarapuá e utilizados para manutenção dos peixes após a exposição às ondas sísmicas. As letras A, B e C indicam à que linha experimental pertenciam os peixes do tanque.....	42
Figura 10. Presença de pigmentos no tecido conjuntivo. Variação do IIBr nos diferentes tratamentos experimentais utilizados.....	46
Figura 11. Congestão da rete mirabile. Variação do IIBr nos diferentes tratamentos experimentais utilizados. ....	47
Figura 12. Descolamento do epitélio de revestimento, variação do IIBr nos diferentes tratamentos experimentais utilizados.....	47
Figura 13. Ruptura do tecido conjuntivo. Variação temporal do IIBr durante o experimento (A); comparação do IIBr nos tratamentos agrupados, em relação ao controle (B); variação do IIBr no controle e nos demais tratamentos individualmente (C). ....	48
Figura 14. Presença de vacúolos intracitoplasmáticos em hepatócitos, distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma individual. ....	50

Figura 15. Presença anormal de pigmentos biliares. distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma agrupada (A); distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma individual (B); Variação temporal dos IIF (C). ....	51
Figura 16. Dilatação de sinusóides, distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma agrupada (A); distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma individual (B); Variação temporal dos IIF (C). ....	52
Figura 17. Degeneração vacuolar do núcleo dos hepatócitos. (A) Variação temporal dos IIF; (B) distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma agrupada; (C) distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma individual. ....	53
Figura 18. Caripcnose. Variação temporal dos IIF (A); distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma individual (B); distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma agrupada (C). ....	54
Figura 19. Infiltração leucocitária, distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma agrupada (A); distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma individual (B). ....	55
Figura 20. Necrose da coagulação, distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma agrupada (A); Variação temporal dos IIF (B); distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma individual (C). ....	56
Figura 21. Degeneração hidrópica, distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma agrupada (A); distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma individual (B). ....	57
Figura 22. Esteatose microvesicular, distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma agrupada (A); Variação temporal dos IIF (B); distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma individual (C). ....	58
Figura 23. Degeneração hialina, distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma agrupada. (A); distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma individual (B). ....	59

Figura 24. Desenho experimental para avaliação do comportamento e sobrevivência de peixes expostos diretamente abaixo dos disparos com os canhões de ar através de filmagem. ....	68
Figura 25. Gaiola utilizada na terceira configuração indicando a presença dos canhões de ar (seta amarela) e da "nuvem" de bolhas formada durante os disparos (seta vermelha). ....	69
Figura 26. Fotografias consecutivas do balão de ar submetidos aos disparos dos canhões de ar e conseqüentes ondas de pressão na segunda configuração utilizada nas filmagens. Fotos C e G apresentam os balões de ar deformados pelas passagens da onda de pressão (imagens ampliadas do balão de ar são apresentadas). ....	71
Figura 27. Fotografias consecutivas tomadas durante os disparos dos canhões de ar nas filmagens da primeira configuração. Os peixes apresentam uma reação de susto como resposta ao disparo; alguns se desviam lateralmente (seta vermelha) ou nadam rapidamente para a frente (setas amarelas). Após e entre disparos, os peixes apresentam freqüência de natação semelhante àquela observada nos peixes antes da exposição à onda de choque. ....	74
Figura 28. Resposta do peixe co baixa higidez exposto a um disparo dos canhões de ar durante as filmagens realizadas com a segunda configuração. Ao ser exposto ao disparo sincronizado dos canhões de ar o peixe assusta-se e responde com uma natação rápida para a frente, igual aos demais considerados com a saúde normal. ....	72
Figura 29. Comparação das medianas de batida da nadadeira caudal dos peixes antes e durante os disparos de ar comprimido. ....	76
Figura 30. Comparação da mediana por espécie de peixe. ....	77
Figura 31. Comparação das medianas de todas amostras durante a exposição dos peixes aos disparos de ar comprimido. ....	77
Figura 32. Resposta dos peixes expostos a um disparo dos air guns durante as filmagens realizadas com a terceira configuração. Cada fotografia foi tirada em um intervalo aproximado de 9 décimos de segundo. Como nos demais experimentos, ao serem expostos aos disparos dos canhões de ar os peixes assustam-se e respondem com uma natação rápida para a frente ou para os lados (seta amarela), retomando a natação normal imediatamente após o disparo. ....	78

## Índice de Tabelas

Tabela 1. Quantidade, espécies e data de captura dos peixes com alteração nas brânquias.....	25
Tabela 2. Quantidade de peixes que apresentaram alterações no fígado dentro da área referência e dentro da área controle.....	27
Tabela 3. Sobrevivência dos peixes no dia seguinte ao experimento. ....	45
Tabela 4. Níveis de significância estatística (p) obtidos através de Teste de Kruskal-Wallis, onde Índice de Impacto nas Brânquias (variável dependente) foi testada em relação as seguintes variáveis independentes: data de coleta do material biológico dos peixes, tratamentos. ....	45
Tabela 5. Níveis de significância estatística (p) obtidos através de Teste de Kruskal-Wallis, onde o Índice de Impacto na Bexiga Natatória (variável dependente) foi testada em relação às seguintes variáveis independentes: data de coleta do material biológico e tratamentos. ....	46
Tabela 6. Número de peixes analisados, quantidade de campos avaliados conforme cada peixe em cada coleta e o número total de campos analisados em cada tratamento. ....	49
Tabela 7. Níveis de significância estatística (p) obtidos através de Teste de Kruskal-Wallis, onde o Índice de Impacto no fígado (variável dependente) foi testada em relação às seguintes variáveis independentes: data de coleta do material biológico dos peixes utilizados no experimento; tratamentos experimentais individualmente (controle x 0 m x 50 m x 100 m). ....	49
Tabela 8. Comparação dos estudos realizados em peixes.....	61
Tabela 9. Reação de susto ou escape, por espécie de peixe, durante todas as configurações realizadas, de acordo com cada disparo de ar comprimido. ....	73

## 1. RESUMO

Uma das técnicas mais conservadoras para a prospecção de depósitos de hidrocarbonetos, é a atividade sísmica marinha. Embora a tecnologia envolvida na atividade sísmica exploratória seja um aperfeiçoamento de técnicas comprovadamente danosas ao meio ambiente, como a utilização de explosivos químicos, muitas dúvidas ainda existem quanto ao seu verdadeiro impacto sobre a fauna marinha. O objetivo geral do presente trabalho foi identificar e tentar quantificar os efeitos agudos e crônicos da atividade sísmica exploratória sobre peixes de interesse comercial. O trabalho foi dividido em três etapas: 1) o monitoramento dos efeitos da sísmica sobre a higidez de peixes recifais; 2) a avaliação experimental dos efeitos agudos e crônicos da prospecção sísmica sobre peixes recifais; 3) a avaliação comportamental de peixes frente aos disparos sísmicos. O monitoramento ictiológico foi baseado na captura periódica de peixes de interesse comercial em duas áreas, identificadas como locais de pesca comercial e também esportiva. As áreas de monitoramento foram escolhidas principalmente pela sua semelhança fisiográfica. A área controle foi situada fora da zona de área de influência direta da prospecção sísmica, enquanto a área de referência foi localizada na área de exploração sísmica comercial. Em ambas as áreas foram realizadas capturas regulares de peixes, com intervalo de quatro dias entre elas. Na área de referência foram realizadas coletas 33 dias antes e 25 dias após a passagem da embarcação geradora de ondas sísmica pela área. Os peixes coletados foram sacrificados e seus órgãos internos retirados, fixados e analisados através de técnicas histológicas. Não foram identificadas alterações patológicas nos peixes causadas ou agravadas pela atividade sísmica com cabo de fundo. A análise experimental, por sua vez, consistiu da exposição de organismos deste compartimento ecológico marinho a disparos sucessivos dos canhões de ar e determinação experimental de índices histológicos de impacto. Estes índices foram comparados entre peixes do grupo controles, não expostos aos disparos, e tratamentos, peixes expostos aos disparos a distâncias variáveis da fonte geradora. Os experimentos de avaliação dos eventuais efeitos da exposição de peixes aos disparos sísmicos, por sua vez, foram realizados utilizando-se quatro espécies de peixes marinhos: *Lutjanus synagris* (ariocó), *Haemulon aurolineatum* (quatinga ou caratinga), *Lutjanus analis* (cioba) e *Chaetodipterus faber* (paru). Exemplares dessas espécies foram capturados no ambiente e transferidos para gaiolas experimentais posicionadas sobre o leito marinho, em um local com profundidade de 10 m. Três linhas, compostas por 3 gaiolas cada, foram dispostas entre si, em intervalos regulares de 50 m, de modo que as gaiolas ficaram dispostas regularmente em um quadrado com 100 m de lado. O barco fonte, arrastando os canhões de ar, mantidos a 5 m de profundidade e, portanto, a 5 metros das gaiolas, passou sobre a primeira linha realizando disparos sísmicos em intervalos regulares, a cada 8 segundos. Contornou a área experimental e seguiu realizando disparos paralelamente às linhas de gaiolas. Posteriormente, os peixes foram transferidos para tanques-rede, de onde periodicamente eram retirados e sacrificados alguns exemplares. Os tecidos coletados eram submetidos a análises histológicas, com o objetivo de identificação e quantificação das alterações patológicas ocorridas. Os resultados obtidos foram comparados com os obtidos em um grupo controle, onde os peixes não foram expostos aos disparos sísmicos. Constatou-se que nenhum peixe morreu em função da exposição direta aos disparos realizados. Não foram detectadas alterações teciduais significativas sobre a bexiga natatória e sobre as brânquias dos peixes, mas houve evidências de que a exposição às ondas sísmicas afetou, de forma reversível e em baixa intensidade, o fígado dos peixes estudados. Menos de 30 dias após a exposição dos peixes aos disparos dos canhões de ar, os indicadores da sanidade empregados haviam retornado aos padrões exibidos por peixes não expostos a tais disparos. No experimento para avaliação do comportamento dos peixes diante dos disparos sísmicos, câmeras subaquáticas foram fixadas em gaiolas, onde foram colocadas espécies de peixes com características de ambientes recifais. As câmeras registraram as reações dos peixes no momento dos disparos. As reações dos peixes foram caracterizadas principalmente pela aceleração inicial do movimento natatório, mas pela redução dos movimentos de fuga, à medida que os animais se acostumam com os ruídos sonoros gerados pelos canhões de ar. Analisando-se todo conjunto de dados obtidos, durante a pesquisa, pode-se refutar a hipótese de que a atividade sísmica marinha causa impactos negativos significativos sobre os peixes estudados.

## 2. ABSTRACT

One of the most traditional techniques for the discovery of energetic sources, such as hydrocarbon deposits, is the marine seismic activity. However this technology is an improvement of methodologies that surely cause damages to the environment, such as the use of chemical explosives, there are still many uncertainties concerning the real impacts of this technique on the marine fauna. The general objective of the present report was to identify and quantify, when possible, the chronic and acute effects of the exploratory seismic activity over commercial fishes. The study was divided into three steps: 1) the monitoring of the seismic effects over the health of reef fishes; 2) the experimental evaluation of the chronic and acute effects of the seismic prospection over reef fishes; 3) the behavioral evaluation of fishes facing the seismic shots. The ichthyological monitoring was based on the periodic capture of commercial fishes in two different commercial and sportive fishing areas. The monitoring areas were chosen mainly by the physiographic similarities. The control area was outside the influence zone of the seismic prospection, while the reference area was within the zone under the exploratory seismic commercial. In both areas regular fish captures were performed with a four days interval. In the reference area there were collections 33 days before and 25 days after the passage of the ship that generated the seismic waves. The collected fishes were sacrificed and the internal organs removed, fixed and analyzed through histology technic. No find pathological alterations in the fishes caused or worsened by the seismic activity with bottom cable developed in the area. The experimental analysis consisted of the exposure of organisms from this marine ecological compartment to consecutive shots of air cannons and also experimental determination of impact levels. These levels were compared between control samples, which were not exposed to the shots, and treatment, which were exposed to the shots of variable distances. Four marine fishes were used to perform the evaluation experiments of the eventual chronic effects of this exposure to seismic shots: *Lutjanus synagris* (known as *ariocó*), *Haemulon aurolineatum* (*quatinga* or *caratinga*), *Lutjanus analis* (*cioba*) and *Chaetodipterus faber* (*paru*). Specimens of these species were captured in the ambient and transferred to experimental cages placed in the marine environment, 10 meters deep. Three lines, composed by three cages each, were arranged with regular intervals of 50 meters in such way that all cages formed a regular square of 100 meters wide. The source boat, carrying the air cannons maintained 5 meters deep and, thus, 5 meters from the cages, passed through the first line shooting in regular intervals of 8 seconds. The boat turned round the experimental area and continued to perform parallel shots pointing to the cage lines. Afterwards, the fishes were transferred to web-tanks. From these tanks some specimens were removed and sacrificed periodically. The collected tissues to submit histology analyze damming the identification and quantification of the pathological alterations. The results were compared to those obtained in a control group, which was not exposed to the seismic shots. The conclusion was that no fish died in a result of a direct shot exposure. Concerning the chronic effects, the occurrence of impacts on bladder and gills in the fishes was rejected. However, there were evidences that the exposure to the seismic waves caused hepatic pathological alterations in a reversible way and in low intensity in the studied fishes. Less than 30 days after the exposure to the air cannon shots, the health indicators of the fishes returned to patterns showed by fishes that were not exposed to such shots. In the experiment for behavior evaluation of fishes facing the seismic shots, sub-aquatic cameras were fixed in cages, where fishes with reef environment features were placed in. These cameras registered the reactions of the fishes on the exact moment of the shots. These reactions consisted basically in an initial acceleration of swimming movements, but by the reduction of escape movements while the animals were familiarizing with the noises generated by the air cannons. Analyzing all the data obtained in the present report, it is possible to reject the hypothesis that the marine seismic activity causes impacts negative significant on the studied fishes.

## 2. APRESENTAÇÃO

A demanda contínua e crescente por fontes energéticas colocam ainda o petróleo como uma importante fonte não-renovável da matriz energética mundial. Para suprir a demanda por combustíveis fósseis, as empresas se dedicam à exploração como meio para manter o ciclo de produção.

Com a abertura de mercado brasileiro para a exploração e produção de petróleo e gás natural, várias empresas multinacionais passaram a investir no Brasil. Como alguns dos blocos licenciados pelo governo federal para exploração estão localizados muito próximos e até mesmo sobre áreas muito sensíveis, formadas, por exemplo, por ambientes recifais, surgiu a necessidade da realização de estudos, para avaliar a relação entre as técnicas utilizadas e os seus impactos ambientais sobre a fauna marinha.

A aquisição de dados geofísicos, através do levantamento sísmico marítimo 3D é uma atividade exploratória que visa fornecer dados que subsidiem a identificação de estruturas geológicas favoráveis à acumulação de hidrocarbonetos. Uma das tecnologias empregadas é a utilização de canhões de ar (*air guns*) para geração de ondas sísmicas. Os canhões de ar são fontes sísmicas pneumáticas, transportadas por um barco adaptado, conhecido como barco fonte (*gun boat*).

A proposta do estudo aqui realizado foi derivada de uma exigência feita pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Renováveis - IBAMA, para o licenciamento ambiental das atividades de prospecção sísmica em águas rasas.

A presente dissertação foi levada a termo, de forma paralela ao trabalho de prospecção sísmica utilizando-se cabo de fundo, realizada pela empresa Grant Geophysical, na Região do Baixo Sul, BA, próximo às ilhas de Tinharé e Boipeba, nos primeiros meses de 2004. No presente estudo, investigou-se a ocorrência de alterações em órgãos e tecidos de peixes de interesse comercial, eventualmente geradas durante exploração comercial de sísmica 3D com cabo fundo.

O trabalho de investigação dos possíveis impactos desta técnica sob peixes foi dividido em três capítulos: 1) monitoramento dos impactos da prospecção sísmica exploratória 3D com cabo de fundo sobre peixes marinhos de interesse comercial (primeiro capítulo); 2) avaliação experimental dos efeitos agudos e crônicos da prospecção sísmica sobre peixes marinhos (segundo capítulo); 3) avaliação comportamental de peixes durante os disparos sísmicos (terceiro e último capítulo).

Para compreensão dos efeitos da sísmica sobre peixes residentes, optou-se por utilizar como ferramenta principal análises histopatológicas dos tecidos e órgãos dos peixes. Essa técnica permite o estudo da estrutura do material biológico e das maneiras como seus componentes se inter-relacionam estrutural e funcionalmente, podendo fornecer indícios importantes sobre o agente estressor e suas conseqüências biológicas para os organismos expostos a este agente. Dessa forma, qualquer alteração encontrada que tenha relação causal com a atividade poderia ser qualificada e

quantificada, quando comparada com os resultados obtidos nos peixes do grupo controle (não expostos diretamente aos disparos sísmicos).



### **3. MONITORAMENTO DOS IMPACTOS DA PROSPECÇÃO SÍSMICA EXPLORATÓRIA 3D COM CABO DE FUNDO SOBRE PEIXES MARINHOS DE INTERESSE COMERCIAL**

#### **Resumo**

O levantamento sísmico é a primeira etapa no processo para a localização e exploração de reservatórios onde se concentram o petróleo e o gás natural. A atividade sísmica exploratória utiliza o reflexo de ondas sonoras, geradas através de disparos de ar comprimido, que são produzidos por equipamentos pneumáticos, chamadas canhões de ar (air-guns). Através de hidro e geofones instalados no leito marinho, estes sinais são captados, e transportados através de cabos, que são conectados a uma embarcação, adaptada com computadores, responsáveis pelo armazenamento dos dados obtidos. O objetivo geral do presente trabalho foi identificar e quantificar os efeitos da atividade sísmica exploratória sobre peixes, utilizando como ferramenta principal à análise histopatológica. A atividade sísmica monitorada neste trabalho, utiliza um modelo de prospecção em 3 dimensões, que gera ondas sonoras com frequências baixas, intensidades de 196 dB, com um arranjo de 8 air-guns, e com cabos de fundo. Foram realizadas capturas científicas de peixes em duas regiões com características fisiográficas muito semelhantes entre si. A primeira (área referência), localizada em uma zona onde foram realizadas concomitantemente as prospecções sísmicas em escala comercial. E a segunda área (área controle), adjacente à primeira, porém distante o suficiente para que os efeitos da atividade sísmica pudessem ser considerados desprezíveis. Durante um período de 59 dias, foram capturados, um total de 144 peixes, utilizando um espinhel e linhas de mão, dos quais foram coletadas amostras dos seguintes órgãos: bexiga natatória, fígado e brânquias. Análises histopatológicas foram então realizadas, no laboratório do Grupo Integrado de Aqüicultura e Estudos Ambientais da Universidade Federal do Paraná. Nas análises destas lâminas, foram identificadas alterações patológicas. Dessas alterações foram gerados índices patológicos, que refletem ou representam um possível efeito negativo sobre os órgãos desses peixes, ou seja, um estresse exercido sobre o meio ambiente. Depois de submeter estes índices às análises estatísticas utilizando-se testes de Kruskal-Wallis (para comparação entre várias variáveis independentes), Mann-Whitney e Kolmogorov-Smirnov (para comparação entre duas variáveis independentes), ao nível de 95% de confiabilidade, foi constatado que não houve diferenças entre a incidência de alterações patológicas dos peixes coletados nas áreas referência e controle. Nas condições apresentadas, analisando todas as alterações patológicas encontradas, não foram encontradas evidências científicas consistentes de que este modelo de prospecção sísmica cause efeitos deletérios significativos sobre os tecidos e órgãos analisados.

### **3.1. Introdução**

Existe uma grande preocupação com relação aos efeitos deletérios da atividade sísmica exploratória sobre a biota marinha (Greenpeace, 2000). Segundo Gausland (2003) no início do desenvolvimento desta atividade utilizavam-se explosivos químicos como fonte sonora, e o impacto físico era comprovadamente danoso aos organismos marinhos, especialmente peixes e mamíferos. Na atividade sísmica, a utilização de canhões de ar é a mais importante técnica para geração de ondas compressãoais (Wardle *et al.*, 2001; Gausland, 2003). Muitos estudos vêm sendo realizados para investigar os impactos ambientais da utilização de canhões de ar, particularmente sobre tartarugas marinhas (Mc Cauley *et al.*, 2000 a) e sobre mamíferos (Richardson *et al.*, 1986; AU *et al.*, 1997; Richardson and Wursig, 1997; Goold and Fish, 1998; Gordon *et al.*, 1998; Mc Cauley, 1998; Schlundt *et al.*, 2000; Mc Cauley and Duncan, 2001). No entanto, os estudos direcionados aos peixes são relativamente raros, focalizando os efeitos dessa atividade sobre a abundância populacional de peixes (Skalski *et al.*, 1992; Engas *et al.*, 1996).

Atualmente, a utilização de canhões de ar é ambientalmente mais segura, porém, ainda pouco se conhece sobre os efeitos da exposição dos peixes aos canhões de ar (Popper, 2003). Gausland (2003) afirma que as pesquisas realizadas fornecem dados com medidas de pressão variadas ou não especificados, o que dificulta a colação dos resultados ou pode levar à comparações indevidas. Segundo Sailer *et al.* (1993), as explosões subaquáticas podem exercer gerar ondas de choque, que podem ferir ou até matar os peixes. De acordo com os autores, os peixes afetados podem se distribuir por uma vasta área, voluntariamente ou levados pelas correntes, enquanto outros podem permanecer no fundo. Impactos menos graves foram sugeridos por Yelverton e Richmond (1981), segundo os autores, peixes que não fogem da área onde ocorre a prospecção sísmica podem ser submetidos a um estresse crônico, com aumento das taxas de batimento cardíaco e dos níveis de adrenalina.

O presente trabalho tem o intuito de estabelecer um diagnóstico dos impactos da atividade sísmica exploratória nas áreas onde estavam sendo realizadas as atividades sobre tecidos e órgãos de peixes. O trabalho aqui apresentado foi realizado a partir de um monitoramento ambiental levado a termo de forma paralela à exploração sísmica utilizando-se cabo de fundo

### **3.2. Material e métodos**

#### **3.2.1. Metodologia amostral**

Para realização deste monitoramento foram selecionadas duas áreas com características fisiográficas semelhantes. As áreas escolhidas são caracterizadas por formações recifais, apresentando profundidade média de 58 metros e fundo rochoso com grandes extensões de areia entre elas.

Uma das áreas escolhidas estava localizada a cerca de 5.000 m do limite norte da zona de exploração sísmica realizada pela empresa Grant Geophysical do Brasil. Essa distância foi estipulada levando em consideração a zona mínima de exclusão determinada pela empresa responsável pelos trabalhos desenvolvidos na área de estudo (Grant-Geophysical do Brasil), para que a navegação de outras embarcações não interfira na captação e posterior processamento das ondas sonoras e também na zona em que se obriga a paralisação dos disparos de ar comprimidos, uma vez detectada a presença de mamíferos e cetáceos na área. Tal área foi utilizada como controle (localizada entre as seguintes coordenadas: 13° 30' 44.0" S - 38° 48' 13.8" W e 13° 31' 15.7" S - 38° 47' 33.8" W). Os peixes coletados nessa área foram empregados com o objetivo de comparação com os peixes capturados na zona diretamente submetida à atividade sísmica área referência (localizada aproximadamente entre as seguintes coordenadas: 13° 32' 21.8" S - 38° 47' 37.1" W e 13° 34' 28.4" S - 38° 47' 32.5" W), a distância entre as duas áreas é de aproximadamente 8000 metros.

Em ambas as áreas, foram realizadas capturas regulares de peixes, com intervalo de quatro dias entre elas, durante um período total de 59 dias, entre os dias 02/01/2004 a 01/03/2004. O navio responsável pelos disparos de ar comprimido, começou a atuar comercialmente no bloco liberado para sísmica, no ponto A, coordenadas -13° 34' 41.9" S - 38° 49' 48.9" W - a partir do dia 07/01/2004. O bloco foi dividido em 37 faixas "Swaths", numeradas de 101 a 137, e cada faixa foi dividida em 5 linhas. O navio sísmico atravessava o bloco realizando movimentos de zig-zag, percorrendo a área de cada faixa, que tinha aproximadamente 550 metros de largura (Figura 1). A embarcação responsável pelos disparos de ar comprimido cruzou a área no sentido leste-oeste desde a faixa 101, até o limite do bloco licenciado para sísmica, ponto B - 13° 33' 57.6" S - 38° 45' 47.6" W - em uma distância aproximada de 8000 metros, fazendo o retorno e navegando no sentido oeste-leste na faixa 102 e assim sucessivamente, deslocando-se em uma trajetória norte-sul do bloco licenciado para sísmica. Na área de referência foram realizadas coletas 33 dias antes e 25 dias após a passagem da embarcação geradora de ondas sísmica pela área (Figura 2 A e B). Sendo que, o navio responsável pelos disparos de ar comprimido atuou sobre a área Referência (Faixa 103) no dia 03/02/2004, no ponto C (Faixa 102) no dia 16/01 e no dia 13/02 passou sob o ponto D (Faixa 104) (Figura 1). À distância entre o ponto C e a área referência foi de 250 metros e entre a área referência e o ponto D foi de 350 metros aproximadamente.

Cada um dos 8 canhões de ar utilizados no presente trabalho possui capacidade total de 635 polegadas cúbicas, e é alimentado por compressores de 2.000 psi. Este sistema foi especialmente desenvolvido para ser utilizado em áreas sensíveis, pois produz pulsos (ondas sísmicas) de baixa frequência (<100 Hz) e intensidade em torno de 196 dB ref 1 µPa-m, a uma profundidade média de 5,0 metros abaixo da linha d'água, a cada 9-11 segundos.



Os peixes foram capturados utilizando-se dois apetrechos de pesca distintos, um deles foi um espinhel de fundo, com cerca de 800 metros de comprimento, possuindo aproximadamente 1200 anzóis de variados tamanhos, utilizando-se sardinha como isca, o outro foi o chamado *barandão* (linha de mão), utilizando camarão como isca, dessa forma, diminuía a seletividade da captura, pois foram utilizados variados tamanhos de anzóis.

Após instalar o espinhel, a equipe aguardava no máximo 90 minutos para sua retirada da água. Enquanto se aguardava o tempo necessário para captura dos peixes, realizava-se a pesca com linha de mão.

Uma vez capturados, os peixes eram insensibilizados, através de secção medular, para que os órgãos (brânquias, fígados e bexigas natatórias) pudessem ser coletados com os peixes ainda vivos. Após a secção medular, os peixes eram identificados e fotografados. A seguir, era feita uma abertura na cavidade celomática, de modo que os órgãos internos também pudessem ser fotografados para avaliação do estado visual dos órgãos. Só então eram realizadas as coletas de material biológico de cada peixe. As amostras eram então transferidas para frascos previamente etiquetados e preenchidos com fixador de Davidson (AFA – Formado por Álcool, Ácido Acético, Água Destilada e Formol), durante um período de 24 horas, quando se realizava a troca do AFA para álcool 70% antes de serem enviadas para o laboratório do Grupo Integrado de Aqüicultura-UFPR-(GIA) para realização das análises histopatológicas.

Quatro espécies foram estudadas, escolhidas obedecendo aos seguintes critérios: proximidade taxonômica com os peixes afetados pela mortandade ocorrido na região do Baixo Sul, em janeiro de 2003 (Ostrensky *et al.*, 2003); facilidade de captura, interesse comercial e principalmente espécies com padrão de comportamento territorial. Estas espécies estudadas foram: *Lutjanus synagris* (ariocó), *Lutjanus analis* (Cioba), *Rhomboplites aurorubens* (vermelho-panamirim), e *Ocyurus chrysurus* (Guaiúba).

### **3.2.2. Análises histológicas**

No Laboratório de Histologia do GIA, todo o material coletado foi submetido ao processamento de rotina (Behmer *et al.*, 1976) sendo desidratado em série alcoólica crescente, diafanizado em xileno, com posterior impregnação e inclusão em parafina histológica purificada a 56°C. Os blocos foram modelados e seccionados em um micrótomo Leica RM2125RT. Os cortes foram realizados com a espessura de 5 µm, em três pontos diferentes do tecido incluído em parafina. De cada órgão analisado, foram realizados cortes havendo um desgaste de 50 µm entre eles, corados com Hematoxilina de Harris e Eosina, para descrição histológica (Horobin e Bancroft, 1998). Como ferramenta para a diferenciação e identificação de alterações histológicas, utilizou-se, sempre que necessário, a Coloração Tricrômica de Mallory e a Reação Histoquímica Ácido Periódico de Schiff(PAS). As lâminas permanentes foram analisadas com o auxílio do microscópio Leica DMLS

e do sistema de análise digital de imagem Software Leica Qwin Lite V. 2.4 (Imaging Solution Inc., 1998)

Para uma melhor interpretação dos efeitos da sísmica sobre as brânquias, fígado e bexiga natatória dos peixes, optou-se por analisar cada alteração patológica de forma separada. Como essas alterações identificadas poderiam afetar apenas uma parte do órgão, foram realizados 3 cortes no tecido coletado com intervalo de 50µm entre eles. Para cada alteração patológica encontrada, foi gerado um índice de impacto. Este índice foi calculado conforme a característica morfológica de cada órgão utilizado nas análises. Os índices de impacto de todos os órgãos foram comparados de forma agrupada por alteração patológica (índice de impacto de todas alterações do ponto controle comparado com o índice de impacto de todas alterações do ponto referência), de forma individual (índice de impacto de determinada alteração do ponto controle, comparado com o índice de impacto de uma determinada alteração do ponto referência), e analisados temporalmente, em relação às datas da passagem do barco sísmico próximo e sob a área de estudo, para avaliar se houve uma tendência de aumento em relação à data da passagem do navio sísmico próximo à área referência.

### **Alterações Branquiais**

Todos os espécimes foram examinados quanto à presença de alterações celulares nas brânquias, utilizando as descrições de Ferguson (1989), Mallat,(1985), Ribelin e Migaki (1975).

As análises quantitativas foram realizadas por amostragem, em cada um dos três cortes histológicos presentes na lâmina. De cada corte foram escolhidos, aleatoriamente, 3 filamentos branquiais dos quais analisaram-se 5 lamelas branquiais a cada intervalo sucessivo de 10 dessas lamelas. Foi quantificado o número de lamelas que apresentavam uma ou mais alterações. A metodologia, para quantificar as alterações encontradas, foi padronizada para todas análises realizadas com as brânquias, sendo desenvolvida especialmente para realizar a comparação entre as duas áreas de estudo.

As alterações encontradas nas lamelas permitiram gerar o Índice de Impacto na Brânquia (IIBr) de cada patogenia analisada. O IIBr foi calculado individualmente para cada patogenia estudada, podendo apresentar valores oscilando de 1,0 (valor máximo) a zero (valor mínimo = ausência de alterações histológicas) e foi calculado por meio da equação: Índice de Impacto Total na Brânquia (% lamelas alteradas) = (nº de lamelas alteradas/ nº de lamelas analisadas)

### **Alterações Encontradas na Bexiga Natatória**

Em função da sua elasticidade característica e da sua configuração estrutural, a bexiga natatória sofre uma grande deformação quando fixada. Para minimização de eventuais erros analíticos, optou-se por analisar a simples presença ou ausência de patologias. No entanto, ao invés de se observar apenas um determinado número de campos ao microscópio óptico, como nas análises de brânquias e fígado, analisou-se a totalidade da área relativa ao corte histológico, realizados em

locais responsáveis por adição de gás e manutenção da pressão de gás da bexiga. Essa metodologia para quantificar as alterações encontradas foi padronizada para todas análises realizadas com as bexigas natatórias, sendo desenvolvida especialmente para realizar a comparação entre as duas áreas de estudo.

Foi atribuído valor 0,2 para a presença de cada alteração e valor 0 para a sua ausência, em cada um dos cortes analisados. O valor 0,2 foi definido como um simples artifício de cálculo, não tendo nenhum outro propósito ou significado senão indicar matematicamente a existência de uma determinada patologia no órgão analisado.

Para cada patogenia detectada, foi calculado o valor médio dos índices de impacto, valor considerado como o Índice de Impacto na Bexiga Natatória (IIBr), provocado pela respectiva patogenia.

### **Alterações Hepáticas**

Todos os espécimes coletados foram examinados quanto à presença de alterações celulares no parênquima hepático, utilizando as descrições de Ribelin and Migaki (1975); Hibiya (1982); Ferguson (1989); Brasileiro (1994).

Para a avaliação quantitativa dos resultados obtidos, realizou-se, aleatoriamente, a captura da imagem de 5 campos do microscópio óptico por corte histológico, totalizando 15 campos por órgão, em um aumento de 400x, para cada um dos indivíduos analisados. Em cada um destes campos de análise, foi obtida a medida das áreas afetadas pelas patogenias existentes o índice de impacto no fígado (IIF), com auxílio do software de análises digital Software Leica Qwin Lite V. 2.4 (Imaging Solution Inc., 1998). Essa metodologia para quantificar as alterações encontradas foi padronizada para todas análises realizadas com os fígados, sendo desenvolvida especialmente para realizar a comparação entre as duas áreas de estudo.

Para cada alteração histológica detectada, foi calculada a extensão relativa dos danos provocados pela mesma. A extensão dos danos deve ser aqui entendida como a área hepática (hepatócitos, ductos biliares e vasos sangüíneos) alterada em relação à área hepática analisada, segundo a seguinte equação:  $IIF = (\text{área alterada} / \text{área total analisada})$ .

Cada alteração detectada foi tratada individualmente por campo analisado. O índice de impacto obtido pode apresentar valores oscilando de 1,0 (valor máximo) a zero (valor mínimo = ausência de patogenias).

### **3.2.3. Análises Estatísticas**

Uma vez gerados os Índices de Impacto no fígado, brânquias e bexiga natatória para cada um dos peixes analisados, esses dados foram tratados através do pacote estatístico Statistica<sup>®</sup> versão 6.0 (StatSoft Inc).

Os índices de impacto obtidos foram submetidos a um teste de homogeneidade, através do teste de Shapiro-Wilk, com nível de 5% de probabilidade. Quando confirmado que não se ajustavam à curva normal de Gauss, foram realizados testes comparativos entre medianas, através de metodologia não-paramétrica, utilizando-se testes de Kruskal-Wallis (para comparação entre várias variáveis independentes), Mann-Whitney e Kolmogorov-Smirnov (para comparação entre duas variáveis independentes), ao nível de 95% de confiabilidade.

### **3.3. Resultados**

No total, foram capturados 144 peixes, sendo 72 em cada uma das áreas monitoradas (área controle e área referência).

#### **3.3.1. Brânquias**

No total, amostras de tecido de 139 peixes foram utilizadas para confecção das lâminas histológicas, 70 provenientes da área controle e 69 da área referência. Cinco amostras não foram utilizadas por problemas com a fixação ou com o transporte do material. No total, foram analisadas 11.475 lamelas branquiais. Identificando-se as seguintes alterações patológicas: aneurisma, ausência do epitélio, congestão, descamação, descolamento (edema,) desestruturação, hemorragia, hiperplasia. Na área controle, 59 peixes apresentaram IIBr igual a zero, na área referência esse número foi de 54 peixes. Em todas as análises de frequência realizadas para cada alteração de forma individual, constatou-se que 100% dos peixes coletados tanto na área controle quanto na área referência apresentaram índices de impacto entre 0 e 0,05. Não foi constatada relação direta entre a data de coleta de peixes que apresentaram alterações e a data de passagem do barco sísmico pela área referência, nem com as espécies estudadas (Tabela 1).

Não houve diferenças significativa, em relação às medianas dos IIBr, das alterações patológicas detectadas nas brânquias dos peixes capturados na área controle com os peixes capturados na área sob influência da sísmica, nem quando essas patologias foram analisadas individualmente e nem quando comparadas de forma agrupada. A distribuição da mediana dos IIBr de peixes coletados na área de referência foi idêntica a de peixes coletados na área controle.

Quando os IIBr dos peixes capturados na área referência foram analisados de acordo com as datas de coleta, não foi observada uma tendência de aumento dos índices em relação a data da passagem da embarcação sísmica pela área referência (Figura 3). As diferenças entre as medianas dos IIBr dos peixes capturados na área referência entre as diferentes datas analisadas não foram estatisticamente significativa avaliadas de forma individual (por alteração patológica).



Tabela 1. Quantidade, espécies e data de captura dos peixes com alteração nas brânquias.

Pontos de Coleta	Número dos peixes	Data da Captura	Espécie
PC	63	21/02/2004	<i>R. aurorubens</i>
	17	21/01/2004	<i>L. synagris</i>
	66	03/03/2004	<i>L. synagris</i>
	26	29/01/2004	<i>L. analis</i>
	24	21/01/2004	<i>L. synagris</i>
	9	07/01/2004	<i>L. synagris</i>
	32	29/02/2004	<i>R. aurorubens</i>
	3	02/01/2004	<i>L. synagris</i>
	48	09/02/2004	<i>R. aurorubens</i>
	13	07/01/2004	<i>L. synagris</i>
	29	29/01/2004	<i>R. aurorubens</i>
PR	62	22/02/2004	<i>L. synagris</i>
	15	09/01/2004	<i>L. synagris</i>
	66	01/03/2004	<i>L. synagris</i>
	55	16/02/2004	<i>R. aurorubens</i>
	43	10/02/2004	<i>L. synagris</i>
	42	10/02/2004	<i>L. synagris</i>
	65	01/03/2004	<i>L. synagris</i>
	60	22/02/2004	<i>L. synagris</i>
	41	10/02/2004	<i>L. synagris</i>
	25	27/01/2004	<i>L. analis</i>
	7	03/01/2004	<i>L. analis</i>
	4	03/01/2004	<i>L. analis</i>
	1	03/01/2004	<i>R. aurorubens</i>
	70	01/03/2004	<i>L. synagris</i>
	48	10/02/2004	<i>L. synagris</i>

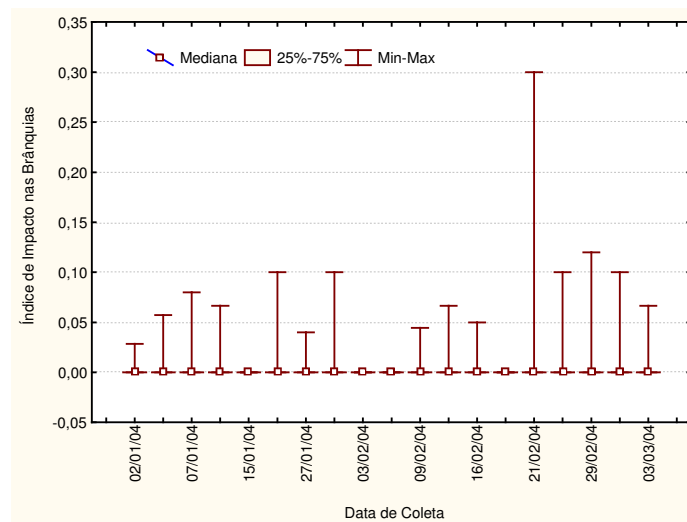


Figura 3. Variação temporal dos IIBr na área referência.

### 3.3.2. Fígado

De cada peixe foram preparadas 3 lâminas e, ao todo, foram analisados 136 peixes, 67 provenientes da área de influência da sísmica e 69 da área controle. O número total de campos avaliados para a análise comparativa das alterações patológicas observadas no fígado chegou a 2.040. Foram preparadas lâminas do fígado de 56 ariocós, 3 ciobas, 7 vermelhos e 1 guaiúba, capturados na área referência, e de 31 ariocós, 5 ciobas, 29 vermelhos e 4 guaiúbas capturados na área controle. Oito amostras não tiveram condições de ser utilizadas, por problemas com a fixação do material ou no transporte. Foram identificadas as seguintes alterações patológicas: cariopicnose, congestão sangüínea, degeneração gordurosa (esteatose macrovesicular), degeneração gordurosa (esteatose microvesicular), degeneração hidrópica, ducto biliar dilatado, hemorragia, infiltração leucocitária, necrose de coagulação, necrose de perda de cor, presença de vacúolos intracitoplasmáticos em hepatócitos, pigmentos biliares, necrose do corpo apóptico. Na

Tabela 2, pode-se observar a quantidade de peixes coletados nas área controle e referência, que apresentaram algum tipo de alteração patológica.

Quando os IIF das alterações encontradas nos peixes capturados na área referência e na área controle foram comparadas de forma agrupada, foi possível observar que o valor das medianas foram os mesmos em peixes coletados nas duas áreas de estudo ( $p > 0,05$ ).

A variação temporal dos IIF agrupado, dos peixes capturados na área referência, não demonstrou tendência de aumento com relação a data da passagem da embarcação sísmica sob a área diretamente exposta a ação dos disparos de ar comprimido.

No entanto, quando os IIF das alterações patológicas, encontradas em peixes capturados nas duas áreas de estudo, foram comparados de forma individual, a presença de vacúolos intracitoplasmáticos em hepatócitos, foi a única dentre todas as alterações observadas que foi significativamente maior nos peixes coletados na área de referência do que nos capturados na área controle (Figura 4).

A mediana dos IIF para presença de vacúolos intracitoplasmáticos em hepatócitos quantificadas para peixes capturados na área referência foi de 0,31, contra 0,19 para os peixes capturados na área controle ( $p=0,05$ ). Apesar disso, os menores IIF foram observados no dia da passagem da embarcação sísmica pela área referência, e os maiores índices de impacto foram observados 19 dias antes, 6 e 25 dias após a passagem da embarcação sísmica pela área referência (Figura 5 A). Enquanto as medianas na área controle se mantiveram em zero durante todo período de captura. (Figura 5 B). Nas análises realizadas, não foi observada nenhuma evidência tácita de relação entre as espécies estudadas e as alterações encontradas.

Tabela 2. Número de peixes que apresentaram alterações no fígado dentro da área referência e dentro da área controle.

Patologia	Área Controle	Área referência
Congestão sangüínea	5	5
Degeneração hidrópica	16	7
Degeneração vacuolar do núcleo dos hepatócitos	0	0
Degeneração gordurosa macrovesicular	18	10
Degeneração gordurosa microvesicular	3	1
Dilatação de sinusóides	0	0
Ducto biliar dilatado	1	1
Hemorragia	0	3
Infiltração leucocitária	2	0
Necrose – cariopcnose	8	14
Necrose - corpo apoptótico	1	1
Necrose - granulação citoplasmática	0	0
Necrose de coagulação	34	24
Necrose de perda de cor	30	28
Necrose do epitélio cilíndrico do ducto biliar	0	1
Parasito	0	0
Pigmentos biliares	9	4
Presença de vacúolos intracitoplasmáticos em hepatócitos	30	27

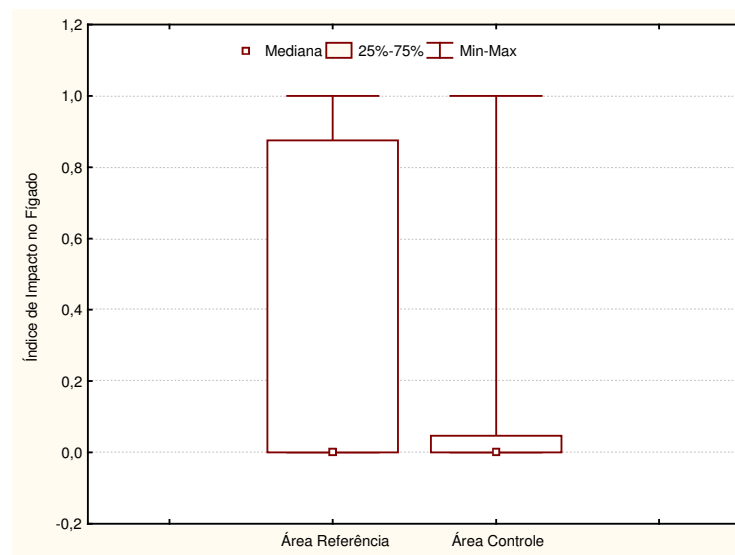


Figura 4. Presença de vacúolos intracitoplasmáticos em hepatócitos, comparação do IIF dos peixes capturados na área controle e área referência.

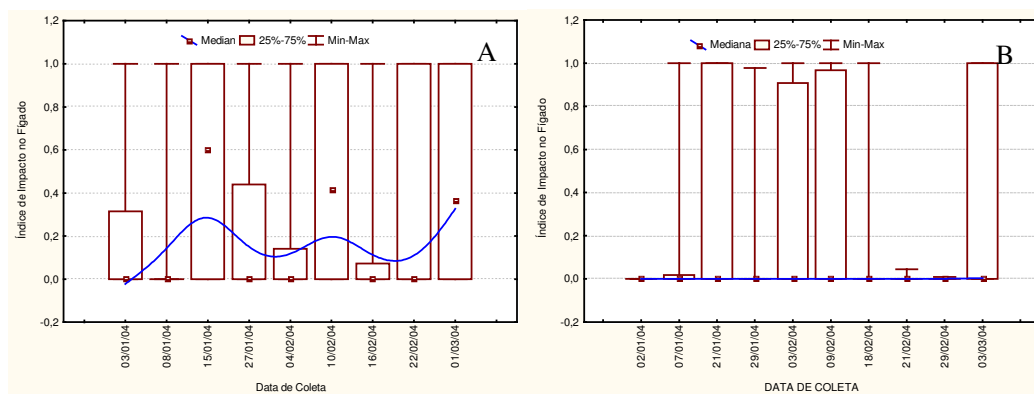


Figura 5. Distribuição temporal para o IIF presença de vacúolos intracitoplasmáticos em hepatócitos, figura A área referência; figura B área controle.

### 3.3.3. Bexiga Natatória

Foram analisadas as bexigas natatórias de 54 peixes, 33 da área controle, e 21 na área referência, o restante das amostras apresentou problemas com a fixação do material ou no transporte até o laboratório. Foram identificadas as seguintes alterações patológicas: descamação e descolamento do epitélio de revestimento, ruptura e presença de pigmento no tecido conjuntivo, desestruturação dos capilares, congestão e necrose da rete mirabile, desestruturação do epitélio secretor.

Em geral, as mesmas alterações patológicas observadas em peixes coletados na área de influência da sísmica também foram encontradas em peixes coletados na área controle. Apesar dos índices de impacto terem sido estatisticamente semelhantes ( $p > 0,05$ ) em peixes coletados nas duas áreas monitoradas, apenas a necrose do tecido da rete mirabile foi detectada somente em peixes coletados no interior do bloco onde era realizada a prospecção sísmica, mesmo assim, a comparação entre os dois pontos de coleta não demonstrou ser estatisticamente significativa nos testes analíticos utilizados, ao passo que a desestruturação do epitélio secretor foi detectada apenas em peixes da área controle.

### 3.4. Discussão

A proposta de se capturar peixes vivos na zona de prospecção sísmica além de ser justificada pelo fato desses animais poderem servir como bioindicadores dos eventuais efeitos deletérios da atividade desenvolvida na região, foi uma exigência do órgão ambiental para liberar os trabalhos comerciais de prospecção sísmica da empresa Grant Geophysical, na região em questão. Segundo Da Silva (2003) existem três principais situações que requerem um monitoramento ambiental utilizando bioindicadores: onde existam razões para se creditar que espécies nativas estão sendo ameaçadas; quando há implicações para saúde humana quanto ao consumo de organismos potencialmente afetados e quando existe interesse de conhecer a qualidade ambiental. Um bioindicador reflete,

através de parâmetros biomoleculares, bioquímicos ou fisiológicos, alterações biológicas provocadas em componentes de uma determinada população, da comunidade, ou do próprio ecossistema como um todo. Segundo Lima (2000), bioindicadores são organismos ou comunidades que respondem à poluição ambiental alterando suas funções vitais, podendo ser utilizados para detectar alterações ambientais. Organismos bioindicadores são geralmente utilizados como uma simplificação trivial dos processos que acontecem na natureza (Paoletti, 1999). Dentre outras coisas, espécies bioindicadoras têm sido usadas como paradigmas na identificação e avaliação de impactos em áreas danificadas ou contaminadas, pois elas reagem às alterações e aos impactos ocorridos no meio ambiente (Paoletti & Bressan, 1996; Van Straalen, 1997). O monitoramento biológico é realizado principalmente através da aplicação de diferentes protocolos de avaliação, índices biológicos e multimétricos (Barbour, 1999). Os principais organismos comumente utilizados na avaliação de impactos ambientais em ecossistemas aquáticos são os macroinvertebrados bentônicos, peixes e comunidade perifítica (Rosenberg e Resh, 1993). Entre os principais organismos utilizados como bioindicadores ambientais, estão as espécies aquáticas, tais como moluscos, peixes, anfíbios, mamíferos (Cotelle e Ferard, 1999).

O método histopatológico permite que façam inferências sobre possíveis condições de higidez, possibilitando a obtenção de resultados em curtos períodos de tempo (Mallat, 1985). Segundo Stentiford (2003), a histopatologia é um biomarcador que permite avaliações multidimensionais (temporal e espacial) da qualidade ambiental e da presença de agentes estressantes ambientais, químicos e físicos.

Segundo Allen (1985) e Nomura (1984) as espécies *Lutjanus synagris*, *Lutjanus analis*, *Rhomboplites aurorubens*, e *Ocyurus chrysurus* são espécies costeiras que vivem em águas profundas entre 25 e 95 metros de profundidade sempre estão associadas a fundos rochosos ou de coral. São bentônicos, apresentam limitada migração entre as regiões associadas a fundo de coral ou rochoso. Ou seja, possuem hábito de vida territorialista. As espécies estudadas são organismos que habitam o fundo de ecossistemas aquáticos marinhos durante todo seu ciclo de vida, associado a fundo rochoso ou de coral.

No presente estudo, partiu-se do princípio que a avaliação comparativa da sanidade dos peixes coletados, tanto em área submetida à atividade sísmica, quanto em área fora da ação das ondas de choque geradas pelos canhões de ar, pode fornecer evidências da existência de eventuais impactos causados pela sísmica sobre órgãos e tecidos dos peixes que vivem nessas regiões.

De acordo com um relatório desenvolvido pela DFO (2004) mamíferos e cetáceos são mais sensíveis do que os peixes aos disparos de ar comprimido, pois possuem órgãos e estruturas em sua anatomia, que são mais sensíveis as ondas sonoras a determinadas frequências e pressões. Segundo Gurjão *et al.* (2004), 1800 metros é uma distância segura para que os disparos de ar comprimido não causem danos a saúde de mamíferos e cetáceos, pois no monitoramento realizado nesse estudo, essa distância, demonstrou-se suficiente para que os disparos de ar comprimido não afetassem a saúde

dos animais que estavam na região de prospecção sísmica. Dessa forma, a distância estipulada entre o bloco sísmico e a área controle, foi suficiente para garantir que os disparos sísmicos não alterassem o estado de sanidade dos peixes capturados para as comparações com os peixes capturados na área de estudo.

No caso apresentado neste estudo, não estão estabelecidas quais são as consequências de duas ou mais alterações patológicas para os indivíduos ou para a população de peixes e nem em qual frequência essas alterações podem ser consideradas “normais” em uma determinada população. Por estes motivos, a análise integrada das respostas dos peixes às variáveis ambientais é a melhor forma de se avaliar quais dos impactos quantificados poderiam estar relacionados à exposição dos peixes às ondas sísmicas; quais alterações devem ser creditadas à fatores “naturais” e quais são os impactos da atividade sísmica para a ictiofauna em uma determinada área de interesse comercial.

Wardle *et al.* (2001) realizaram estudos que indicaram que a natação de peixes residentes continuou aparentemente normal, quando expostos aos canhões de ar com potência de 206 a 218 dB, pico a pico de 6 em 6 segundos e uma distância de 16 metros dos recifes. Um estudo realizado por Ostrensky *et al.* (2002) demonstrou que peixes mantidos em gaiolas expostas a uma distância média de 5 metros dos disparos de ar comprimido de quatro canhões, com intervalo de 12 segundos, e intensidade em torno de 160-170dB re 1  $\mu$ Pa *rms*, não morreram e nem apresentaram diferenças significativas na prevalência das patologias detectadas entre peixes do grupo controle (não expostos aos disparos) e peixes dos demais tratamentos experimentais. Segundo Dalen *et al.* (1996), podem ocorrer prejuízos a saúde dos peixes mantidos confinados em gaiolas, com distâncias menores que 5 metros e mortes com distâncias menores que 1,5 metros entre os canhões de ar e as gaiolas, significando uma taxa de mortalidade de menos de 0,018% no pior cenário possível o que seria insignificante se comparada a taxas naturais de mortalidade. No caso aqui estudado, a profundidade das áreas de captura variou de 40 a 60 metros.

Engas *et al.* (1996) afirmaram que houve uma redução das capturas de bacalhau e arenques em um raio de cinco milhas náuticas da área da atividade sísmica exploratória. Esta diminuição variou entre 45 a 70%, comparado aos índices de captura anteriores, sendo atribuída ao comportamento de fuga destes peixes submetidos à sísmica. Entretanto, um estudo desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa Bergen (2002) *apud* Gausland (2003), indicou que, após o final das atividades exploratórias no norte no oceano da Noruega, houve um incremento na captura do peixe “verdinho”, uma espécie de sardinha. Wardle *et al.* (2001), concluiu que não foram encontradas evidências que demonstrassem que os peixes realizaram migração da região de fundo rochoso para outra área próxima com as mesmas características. Lokkeborg (1991), conclui que a atividade sísmica pode levar ao declínio de captura de peixes em algumas áreas, e ao incremento em outras. Apesar do estudo realizado não ter levado em consideração a captura por unidade de esforço (CPUE), vale salientar que em todo o período do monitoramento não houve necessidade de aumentar o esforço (tempo ou quantidade de anzóis) para capturar a quantidade de peixes estipulada para

realização das análises. Segundo Gausland, (2000) barcos de pesca produzem ruídos de até 150 – 160 db ref 1  $\mu$ Pa/Hz, frequência muito próxima a gerada no equipamento utilizado na sísmica monitorada. De acordo com os resultados obtidos por vários pesquisadores, a influência dos efeitos da atividade sísmica sob a captura de peixes é muito variada, dependendo das condições geográficas do local, das espécies capturadas e do modelo da sísmica utilizado.

Larson (1985) *apud* Wardle *et al.* (2001), afirmam que a emissão de ondas sísmicas em pressões acima de 229 dB e a uma frequência de  $\sim 1$  ms causa a morte dos organismos adultos, salientando que o principal efeito nocivo está relacionado a frequência de emissão das ondas. Os ruídos gerados, dependendo da sua frequência, intensidade e repetição, podem afetar a sanidade dos peixes (Stoskopf, 1993). Entretanto, Falk & Lawrence (1973) e Traxler *et al.* (1993), concluíram que, ao contrário dos explosivos, o uso de canhões de ar não causa nenhuma mortalidade aos peixes. Já o modelo de sísmica desenvolvido durante esta pesquisa produz pulsos (ondas sísmicas) de baixa frequência ( $<100$  Hz) e intensidade em torno de 196 dB ref 1  $\mu$ Pa-m, consideravelmente mais baixas do que no estudo demonstrado por Larson (1985) *apud* Wardle *et. al.*(2001).

Nas análises histopatológicas realizadas, no presente estudo, as alterações patológicas encontradas nos órgãos dos peixes capturados nas duas áreas monitoradas foram praticamente às mesmas. O número de peixes que apresentaram determinada alteração nas duas áreas distintas também foi praticamente o mesmo. Os índices de impacto quantificados nos peixes analisados não foram significativamente distintos daqueles obtidos em peixes capturados na área controle e na área referência em brânquias e bexiga natatória. No caso do fígado, os resultados encontrados não permitem refutar a hipótese de que o modelo de prospecção sísmica avaliado, provoque o aumento da incidência de vacúolos intracitoplasmáticos em hepatócitos em peixes capturados em áreas submetidas à atividade sísmica exploratória. No entanto, o padrão identificado de distribuição temporal do IIF para tal alteração patológica, não permite também afirmar que há relação direta denexo-causa com a atividade sísmica, pois as datas que apresentaram alteração com maiores índices de impacto não correspondem aos dias de atuação da embarcação sísmica próximas à área referência. O único estudo consultado, que utilizou a histopatologia como ferramenta de análise para quantificar impactos causados pela atividade sísmica em peixes foi realizado por Ostrensky *et al* (2002). Nesse estudo peixes foram acondicionados em gaiolas e submetidos aos disparos de 4 canhões de ar. Nas análises hitológicas realizadas, não foi detectada a presença de vacúolos intracitoplasmáticos em hepatócitos. Tal alteração patológica pode ser considerada uma lesão aguda ou crônica, dependendo do agente causador (Jubb *et al.* 1993). Slauson e Cooper (1990) afirmam que as lesões nos hepatócitos são consideradas lesões clássicas de caráter inespecífico de degeneração e necrose celular, podendo ser causada por vários fatores químicos ou físicos. Nenhum dos estudos citados relacionou a atividade sísmica como causadora da presença de vacúolos intracitoplasmáticos em hepatócitos no fígado de peixes. Segundo Jubb *et al.* (1993) esse tipo de alteração não apresenta um modelo de evolução, ou agente causador definido. Assim sendo, mais estudos relacionados a esse

tipo de alteração devem ser desenvolvidos, para avaliar a existência de relação denexo causal com esse modelo de atividade sísmica. O restante das alterações patológicas detectadas, tanto em peixes da área referência como da área controle, parecem estar associadas a pressões naturais do ambiente, não havendo evidências suficientes para creditá-las à atividade sísmica.



## REFERÊNCIAS

- ALBA-TERCEDOR, J. (1996). **Macroinvertebrados Acuáticos y Calidad de las Águas del os Rios**. VI SIAGA, Almeria, vol.II p. 203-213.
- AU, W.L.L.; NACHTIGALL, P.E.; PAWLOSKI J.L. (1997). **Acoustic Effects of the ATOC Signal (75Hz, 195dB) on Dolphins and Whales**. J. Acoust. Soc. Am., 101. p. 2973-2977.
- BARBOUR, M. T.; SNYDER, B.D.; STRIBLING, J.B. (1999). **Rapid Bioassessment Protocols for use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish**, Segunda edição, p. 841-B-99-002.
- BEHMER, O. A.; TOLOSA, E. M. C.; FREITAS Nt., A. G. (1976). **Manual de técnicas para Histologia Normal e Patológica**, São Paulo: São Paulo Livraria e Editora LTDA.
- BRASILEIRO F.G. (1994). **Patologia**. 5.ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, RJ. p. 1243.
- COTELLE, S.; FERARD, J.F. (1999). **Comet Assay in Genetic Ecotoxicology: a review**. Environmental and Molecular Mutagenesis, v. 34.p. 246-255.
- DALEN, J.; ONA, E.; SOLDAL, A.V.; SAETRE, R. (1996). **Seismiske Undersokelser til havs: En Vurdering av Konsekvenser for Fisk og Fiskerier**. Fisken-Havet Bergen-Norway Havforsknings Instituttet N° 9. p. 26
- DFO, (2004). **Review of Scientific Information on Impacts of Seismic Sound on Fish, Invertebrates, Marine Turtles and Marine Mammals**. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Habitat Status Report 2004/002.p.5-10.
- DA SILVA, J.; HEUSER, V.; ANDRADE, V. (2003). **Biomonitoramento Ambiental**. Genética Toxicológica. p. 167-178.
- ENGÅS, A.; LØKKEBORG, S.; ONA, E.; SOLDAL, A.V. (1996). **Effects of Seismic Shooting on Abundance and Catch Rates of Cod (*Gadus morhua*) and Haddock (*Melanogrammus aeglefinus*)**. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 53. p. 2238-2249 .
- FALK, M.R.; LAWRENCE, M.J. (1973). **Seismic Exploration: It's Nature and Effect on Fish**. Tech. Rep. Ser. Environ. Can. p. 51.
- FERGUSON, H. W. (1989). **Systemic Pathology of Fish, a Text and Atlas of Comparative Tissue Responses in Diseases of Teleosts**, Iowa – USA: Iowa State University Press/Ames.
- FROESE, R.; PAULY, D. (2005). **FishBase**. World Wide Web electronic publication. (09/2005). Dinponível em: <<http://www.fishbase.com/search.cfm>> acesso em: 15/05/2004
- GAUSLAND, I. (2000). **Impact of Seismic Surveys on Marine Life**, Statoil, Stavanger, Norway. p.903.
- GAUSLAND, I. (2003). **Seismic Surveys Impact on Fish and Fisheries**, Norwegian Oil Industry Association (OLF). p.2-42.
- GOOLD, J.C.; FISH, P.J. (1998). **Broadband Spectra of Seismic Survey Air-Gun Emissions, with**
- GORDON, J.C.D.; GILLESPIE, D.; POTTER, J.; FRANTZIS, A.; SIMMONDS, M.; SWIFT, R. (1998). **The Effects of Seismic Surveys on Marine Mammals**. In: Seismic and Marine Mammals Workshop, June 1998 (sponsored by AMJIG and IAGC). p. 23-25.
- GREENPEACE (2000), **Seismic Exploration** disponível em:<<http://www.gpuk.org/atlantic/library/oil/siesmic.html>> Acesso em: 01/12/2004.
- GURJÃO, L.M.; FREITAS, J.E.P.; ARAÚJO, D.S. (2004). **Sighting of Dolphins During Seismic Surveys on the Coast of Bahia State, Brazil**, Lajam 3(2): p.171-175.
- HIBIYA, T. (1982), **Normal and Pathological Features**, An Atlas of Fish Histology New York-USA: Gustavo Fischer Verlag.
- HOROBIN, R. W.; BANCROFT, J. D. (1998). **Troubleshooting Histology Stains**. Pearson Professional Limited. Hong Kong.
- JUBB, K. V.F.; KENNEDY, P. C.; PALMER, N. (1993). **Pathology of Domestic Animals**, volume 2, 4ªedição, Califórnia-USA: Academic Press, Inc.
- LIMA, J.S.; FERNANDES, E. B.; FAWCETT, W.N. (2000) **Mangifera indica and Phaseolus Vulgaris in the Bioindication of Air Pollution in Bahia, Brazil**. Ecotoxicology and Environmental Ecotoxicology and Environmental Safety, v.46, p 275-278, 2000. Disponível em:<[Http://www.sibi.usp.br/sibi/biblioteca/revista/seleção.php](http://www.sibi.usp.br/sibi/biblioteca/revista/seleção.php)> Acesso em: 23/06/2005

- LOKKEBORG, S. (1991). **Effects of a Geophysical Survey on Catching Success in Longline Fishing**. ICES CM B:40. p.9.
- MALLAT, J. (1985). **Fish Gill Structural Changes Induced by Toxicants and Other Irritants: a statistical review**. *Can. J. Aquatic. Sci.*, 42. p.189-206.
- MC CAULEY, R.D. (1998) **Radiated Underwater Noise Measured from the Drilling Rig Ocean General**, rig tenders Pacific Ariki and Pacific Frontier, fishing vessel Reef Venture and natural sources in the Timor Sea, Northern Australia. Report to Shell Australia. Resumo.
- MC CAULEY, R.D.; FEWTRELL, J. (2000). **Marine Seismic Surveys**. A study environmental Implications, Prepared for Australian Petroleum Production Exploration Association. p.170.
- MC CAULEY, R.D.; DUNCAN, A.J. (2001). **Marine Acoustic Effects Study, Blue Whale Feeding Aggregations Otway Basin**, Bass Strait Victoria, Unpublished Report to Ecos Consulting, Australia. Resumo.
- OSTRENSKY, A.; ANDRIGUETTO, J.M.; BOEGER, W.; CARDOSO, M.F.; TEIXEIRA, U.A.; BELZ, C.E. WEGBECHER, F.X. (2002). **Avaliação dos Impactos Causados Durante a Aquisição de Dados Sísmicos sobre Organismos Marinhos de Interesse Comercial**. Relatório Final. Grupo Integrado de Aqüicultura e Estudos Ambientais. Curitiba, PR. p. 111.
- OSTRENSKY, A.; CARDOSO, M.F.; BELZ, C.E. (2003). **Avaliação das Causas da Mortandade de Peixes ocorrida na Região do Baixo Sul, BA**. Relatório Final. Grupo Integrado de Aqüicultura e Estudos Ambientais. Curitiba, PR. p. 21-32.
- PAOLETTI, M. G. (1999). **Using Bioindicators Based on Biodiversity to Assess Landscape Sustainability**. Agriculture, Ecosystems & Environment, Amsterdam, v. 74, n.1/3. p.1-18.
- PAOLETTI, M.G.; BRESSAN, M. (1996). **Soil Invertebrates as Bioindicators of Human Disturbance**. Crit. Rev. Plant Sci. 15(1). p. 21-62.
- POPPER, A.N. (2003) **Effects of Anthropogenic Sounds on Fishes**. Fisheries 28, 24-31.
- RIBERLIN, W. E.; MIGAKI, G. (1975). **The Pathology of Fishes, USA**: The University of Wisconsin Press.
- RICHARDSON W.J.; WURSIG B.; GREENE C.R. JR. (1986) **Reactions of Bowhead Whales, Balaena mysticetus, to Seismic Exploration in the Canadian Beaufort Sea**. J Acoustic Soc Am 79 (4). p.1117-1128.
- RICHARDSON, W.J.; WURSIG, B. (1997). **Influences of Man-Made Noise and Other Human Actions on Cetacean Behaviour**. Mar. Freshwater Behav. Physiol., 29. p. 183-209.
- ROBERTS, R. J. (1979). **Pathologie du Poisson**, Paris: Maloine S. A. Éditeur. Resumo.
- ROSENBERG, D.M. ; RESH, V.H. (1996). **Introduction to freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates**, In freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. p.1-9.
- SAILA, S.B.; KOCIC, V.L.; MCMANUS, J.W. (1993). **Modelling the Effects of Destructive Fishing Practices on Tropical Coral Reefs**. Mar. Ecol. Prog. Ser. 94 (1). p. 51-60.
- SCHLUNDT, C.E.; FINNERAN, J.J.; CARDER, D.A.; RIDGWAY, S.H. (2000). **Temporary Shift in Masked Hearing Thresholds of Bottlenose Dolphins, Tursiops Truncatus, and White Whales, Delphinapterus leucas, After Exposure to Intense Tones**. J. Acoust. Soc. Am., 107. p. 3496-3508.
- SKALSKI, J.R.; PEARSON, W.H.; MALME, C.I. (1992). **Effects of Sounds from a Geophysical Survey Device on Catch-Per-Unit-Effort in a Hook-and-Line Fishery for Rockfish (Sebastes spp.)**. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49(7). p. 1357-1365.
- SLAUSON, D. O. e COOPER, B. J. (1990) **Mechanisms of Disease**. 2 th ed. Williams e Wilkins, Baltimore. p.19-58.
- STENTIFORD, G. D.; LONGSHAW, M.; LYONS, B. P.; JONES, G.; GRENN, M.; FEIST, S. W.; (2003). **Histopathological Biomarkers in Estuarine Fish Species for the Assessment of Biological Effects of Contaminants**. Mar. Environ. Res. 55. p. 137-159.
- STOSKOPF, M. K. (1993). **Clinical Examination and Procedures**. In **Fish Medicine**. . (ed). W.B. Saunders Company. p. 63
- TRAXLER, S.L.; MURPHY, B.R; LINTON, T.L. (1993). **Subsident Seismic Explosions do not Injure Caged Fishes in a Freshwater Reservoir**. J. Freshwat. Ecol. 8(1). p. 73-74.
- VAN STRAALLEN, N.M., (1997). **Community Structure of Soil Arthropods as Bioindicators of Soil Health**. Resumo.

WARDLE, C.S.; CARTER, T.J.; URQUHART, G.G.; JOHNSTONE, A.D.F.; ZIOLKOWSKI, A.M.; HAMPSON, G.; MACKIE, D. (2001). **Effects of Seismic Air Guns on Marine Fish**. *Continental Shelf Research*, 21, p.1005–1027.

YELVERTON, J.T.; RICHMOND, D. R. (1981). **Underwater Explosion Damage Risk Criteria for Fish, Birds, and Mammals**, presented at the 102nd Meeting of the Acoustical Society of America. Disponível em: <http://scitation.aip.org/getabs/servlet.com>> Acesso em: 09/08/2006.

#### 4. AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DOS EFEITOS DA PROSPECÇÃO SÍSMICA COM CABO DE FUNDO SOBRE PEIXES MARINHOS

##### Resumo

O objetivo do presente trabalho foi identificar e quantificar os efeitos da atividade sísmica exploratória sobre peixes. Os experimentos de avaliação dos eventuais efeitos da exposição de peixes aos disparos sísmicos foram realizados utilizando-se quatro espécies de peixes marinhos: *Lutjanus synagris* (ariocó), *Haemulon aurolineatum* (quatinga ou caratinga), *Lutjanus analis* (cioba) e *Chaetodipterus faber* (paru). Exemplares dessas espécies foram capturados no ambiente e transferidos para gaiolas experimentais posicionadas sobre o leito marinho, em um local com profundidade de 10 m. Três linhas, compostas por 3 gaiolas cada, foram dispostas entre si, em intervalos regulares de 50 m, de modo que as gaiolas ficaram dispostas regularmente em um quadrado com 100 m de lado. O barco fonte, arrastando os oito canhões de ar, mantidos a 5 m de profundidade e, portanto, a 5 metros das gaiolas, passou sobre a primeira linha realizando disparos sísmicos com intensidades de 196 dB, em intervalos regulares, a cada 8 segundos. Contornou a área experimental e seguiu realizando disparos paralelamente às linhas de gaiolas. Posteriormente, os peixes foram transferidos para tanques-rede, de onde periodicamente eram retirados e sacrificados alguns exemplares. Os tecidos coletados eram submetidos a análises histológicas, com o objetivo de identificação e quantificação das alterações patológicas ocorridas. Os resultados obtidos foram comparados com os obtidos em um grupo controle, onde os peixes não foram expostos aos disparos sísmicos. Constatou-se que nenhum peixe morreu em função da exposição direta aos disparos realizados. Não foram detectadas alterações teciduais significativas sobre a bexiga natatória e sobre as brânquias dos peixes, mas houve evidências de que a exposição às ondas sísmicas afetou, de forma reversível e em baixa intensidade, o fígado dos peixes estudados. Menos de 30 dias após a exposição dos peixes aos disparos dos canhões de ar, os indicadores da sanidade empregados haviam retornado aos padrões exibidos por peixes não expostos a tais disparos.

## 4.1. Introdução

A prospecção sísmica em águas marinhas utiliza canhões de ar para produzir impulsos explosivos, gerando ondas sonoras dirigidas para o fundo do oceano. Os ecos produzidos por estes impulsos são usados para recolher informações sobre características geológicas sub-superficiais. A comunidade e os cientistas se preocupam sobre as maneiras como o som criado pelos canhões de ar pode impactar as diferentes espécies que habitam o oceano (Greenpeace, 2000). Os possíveis impactos das fontes sísmicas marinhas sobre o meio ambiente estariam relacionados à intensidade, níveis de pressão, frequência e organismos marinhos considerados (Gausland, 2000). Os efeitos biológicos e ecológicos para peixes não são suficientemente conhecidos. O que parece ser evidente é o efeito de fuga provocado pelos disparos de ar comprimido, uma vez que os peixes tendem a se afastar das fontes geradoras (Fitzgerald, 2005). Segundo Dalen & Raknes, (1989), Wardle *et al.* (2001) o ruído emitido pelos canhões de ar pode provocar a fuga dos peixes para longe da fonte geradora. Dessa forma, os peixes teriam condições de se proteger, diminuindo mais ainda a chance das ondas sonoras causar efeitos negativos a saúde dos peixes.

Segundo Davis *et al.* (1998), a sanidade de peixes adultos é prejudicada se eles estiverem muito próximos da fonte sísmica geradora. De acordo com um estudo desenvolvido pela Orphan Basin SEA Report em 2003, os canhões de ar causam danos à saúde dos peixes posicionados a 1 metro da fonte geradora. Nesse caso, pode haver rompimento da bexiga natatória ou prejuízos temporários à audição, dependendo da espécie estudada, distância dos disparos, características das ondas sonoras, condições geográficas, além de outros fatores.

McCauley *et al.* (2002) concluíram que explosões sísmicas podem arrancar ou até explodir as células ciliadas do ouvido de peixes, causando danos mecânicos que podem levar essas células à morte. Os danos observados não regrediram após 58 dias de monitoramento. Mann (2000) *apud* McCauley *et al.* (2003), afirmam que as alterações deletérias identificadas nos ouvidos dos peixes regrediram após 24 horas da exposição. Impactos menos graves foram sugeridos por Yelverton e Richmond (1981) segundo o autor, peixes que não fogem da área onde ocorre a prospecção sísmica podem ser submetidos a um estresse crônico, com aumento das taxas de batimento cardíaco e dos níveis de adrenalina.

De acordo com Sverdrup *et al.* (1994), nenhuma mortalidade foi observada quando salmões foram expostos a disparos de ar comprimido, porém os animais apresentavam alteração no padrão natatório após as explosões. Alterações no endotélio da aorta ventral e do mesentério arterial foram observadas, mas desapareceram completamente após uma semana.

O objetivo deste trabalho foi o de analisar, sob condições experimentais extremas (pior cenário possível), os efeitos da prospecção sísmica com cabo de fundo sobre a sobrevivência e sobre os tecidos e órgãos de peixes recifais. Mais especificamente, as análises realizadas visaram fornecer subsídios para uma maior compreensão dos tipos de alterações orgânicas a que eventualmente os

peixes estão sujeitos, em função da sísmica com cabo de fundo, bem como o grau de extensão dessas alterações.

## **4.2. Material e métodos**

### **4.2.1. Local de realização do experimento**

O experimento foi realizado em uma região conhecida pelos moradores da região como Pinaúna, localizada a cerca de 2.000 metros a noroeste da praia de Garapuá, na ilha de Tinharé, município de Cairú-BA. O local escolhido apresenta fundo arenoso de origem calcária e uma profundidade média de 10 metros, apresentando uma área uniforme com cerca de 30.000 metros quadrados.

### **4.2.2. Espécies utilizadas**

Quatro espécies de peixes foram utilizadas nestes experimentos: *Lutjanus synagris* (ariocó), *Lutjanus analis* (cioba), *Chaetodipterus faber* (paru) e *Haemulon aurolineatum* (quatinga ou caratinga). Estas espécies foram escolhidas com base nos seguintes critérios: facilidade de captura dos indivíduos a serem testados; suposta tolerância desses indivíduos às condições de manejo em cativeiro; necessidade de utilização de espécies de interesse comercial para avaliação dos efeitos da sísmica com cabo de fundo; e proximidade taxonômica com os peixes afetados na mortandade ocorrida em Camamú em janeiro de 2003, onde a atividade sísmica foi acusada como uma provável causadora do evento.

### **4.2.3. Coleta e manutenção dos peixes**

Os animais foram coletados próximos ao sítio experimental, através do uso de redes de pesca tipo calão. Posteriormente, os peixes foram transferidos, em caixas isotérmicas com aeração contínua, até tanques-rede de 2 x 2 metros de lado e 1,2 metros de profundidade, posicionados próximas às áreas de pesca conhecidas como Pinauna e Pontinhas (Figura 6), com uma densidade de estocagem menor que 500 gramas por metro quadrado. Nos tanques-rede, os animais foram alimentados regularmente com pedaços de camarão e peixes, fornecidos em pequenas quantidades duas vezes ao dia.

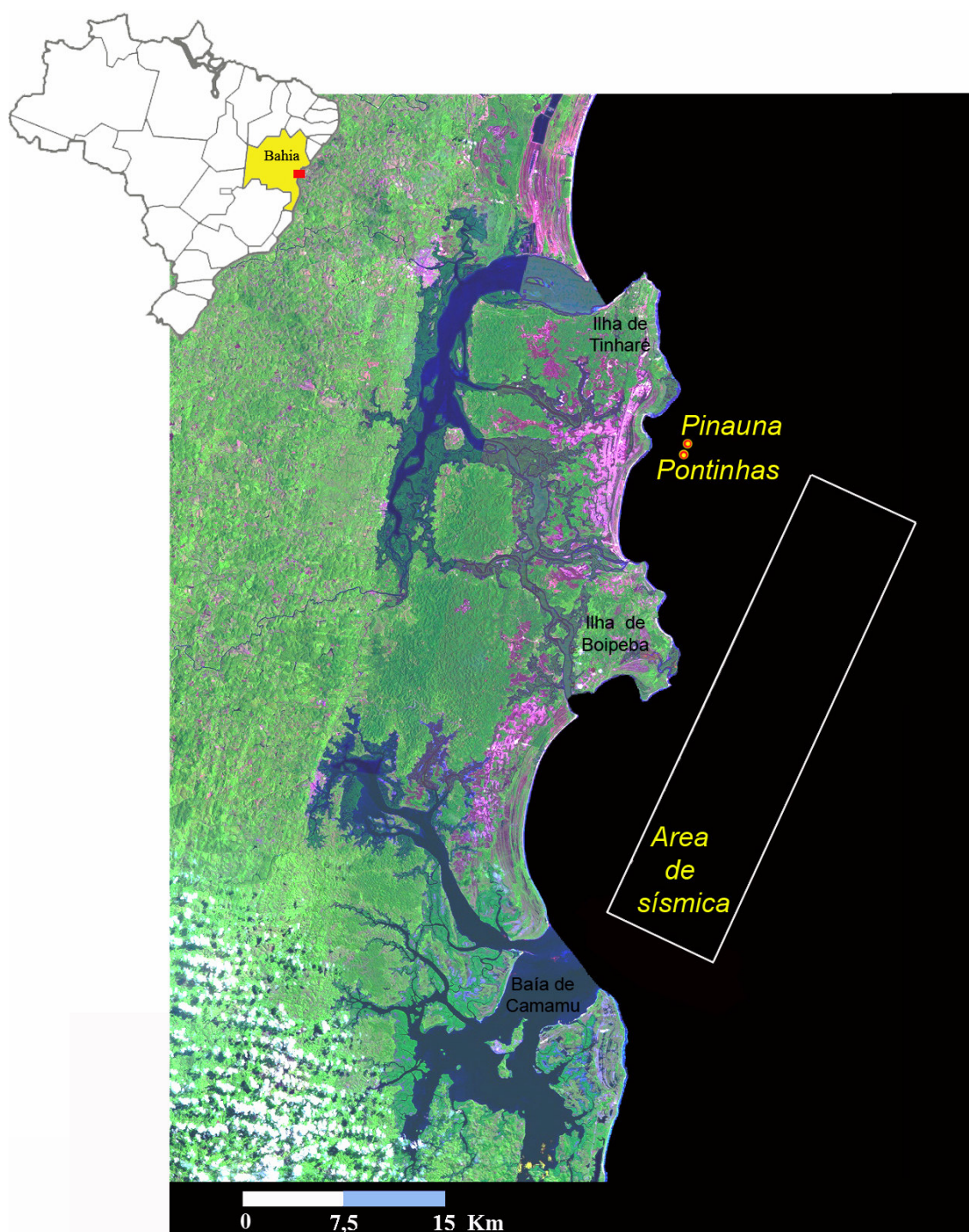


Figura 6. Identificação dos locais onde foram realizados os experimentos em que os peixes, mantidos em gaiolas, foram expostos diretamente aos disparos sísmicos.

#### 4.2.4. Metodologia experimental



Foram utilizadas gaiolas montadas com canos de pvc; que possuíam altura, largura e comprimento de 1 metro; eram cobertas com tela plástica preta, com abertura da malha entre nós de 2,5 mm (Figura 7). As gaiolas eram amarradas, por meio de um cabo de seda, de oito milímetros de espessura e doze metros de comprimento, à âncoras, tipo *danfort*, de quatro quilos cada, e amarradas em bóias de fibra de vidro, com um cabo de 8 milímetros, utilizadas para marcação.

Os peixes foram estocados nos tanque-rede de manutenção até 24 h antes do início dos experimentos, quando foram coletados, com auxílio de puçás, e transferidos para um tanque circular, com capacidade de 1.000 l, em presença de aeração contínua, posicionado em uma embarcação de apoio. Com auxílio dessa embarcação, foi feito o transporte e a transferência dos peixes para as gaiolas experimentais. Tal transferência se deu 18 horas antes do início do experimento, para que os peixes tivessem tempo para se adaptar às condições ambientais das gaiolas.



Figura 7. Gaiolas de 1m<sup>3</sup> utilizadas no experimento de exposição dos peixes aos disparos sísmicos.

No dia do experimento, mergulhadores fizeram uma avaliação do estado de saúde dos peixes mantidos nas gaiolas para identificar a ocorrência de alterações comportamentais ou a presença de lesões causadas durante o manuseio, o transporte e a aclimação dos peixes. Foi constatado que apenas um dos animais apresentava alterações comportamentais evidentes (natação errátil e dificuldade de equilíbrio). Apenas este peixe foi substituído por outro, de um grupo que fora mantido em uma gaiola reserva, os demais foram utilizados no experimento.

Neste experimento, realizado em 13/03/04, foram estabelecidos três diferentes tratamentos amostrais e um grupo controle (em que o manejo dos peixes foi idêntico ao dos tratamentos, com a exceção de que as gaiolas foram recolhidas momentos antes dos disparos, de modo que os animais



não foram expostos aos disparos sísmicos). Todos os tratamentos experimentais foram testados em triplicata.

Em cada gaiola experimental foram colocados 10 peixes (quatro ariocós, três ciobas e três parus). Três linhas de gaiolas foram posicionadas: linha A (gaiolas de referência, posicionada sob a rota de deslocamento do barco fonte); linha B (posicionada a 50 metros da linha A) e linha C (posicionada a 100 m da linha A). Como as gaiolas estavam fundeadas a 10 metros de profundidade e os canhões de ar a 5 metros, os disparos ocorreram a uma distância de 5 metros dos peixes que se encontravam nas gaiolas de referência.

O desenho amostral (Figura 8) foi definido com base no trajeto executado regularmente pela embarcação geradora de ondas sísmicas, em suas operações de sísmica comercial. O barco fonte começou a realizar disparos a uma distância horizontal de 200 metros da primeira linha de gaiolas (tratamento 0 m); depois fez o retorno e realizou disparos exatamente sobre essa linha; fez um novo retorno, distanciando-se da mesma e realizando disparos a 200 m de distância.

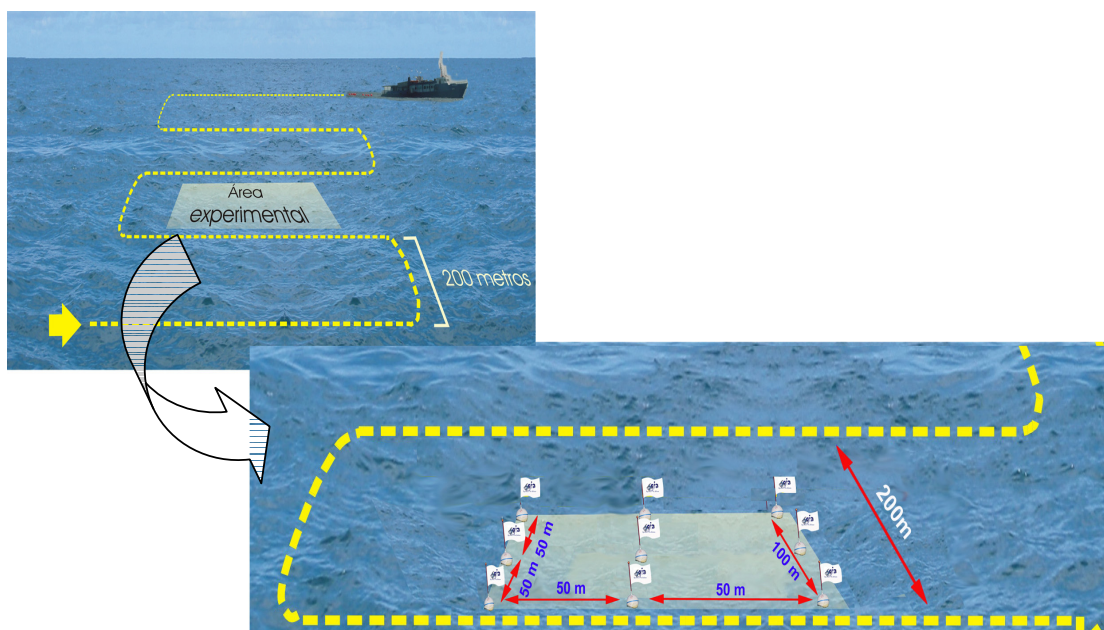


Figura 8. Representação esquemática do delineamento experimental adotado para avaliação dos efeitos dos disparos sísmicos sobre os peixes.

A operação continuou a ser realizada até que o barco estivesse a 1.000 m das gaiolas experimentais posicionadas exatamente sobre a linha de referência. Deste modo as gaiolas dos demais tratamentos ficaram a uma distância horizontal mínima de 50 e 100 m, respectivamente, da fonte geradora de ondas sísmicas.

Cerca de quatro horas após os disparos, as gaiolas foram recolhidas, foi feita a verificação do estado dos peixes. Os peixes foram então transportados, em caixas isotérmicas sob aeração contínua até a área que serviu de base, localizada em frente à comunidade de Guarapuá. Nesse local, haviam

sido montados previamente 6 tanques-rede para receber esses animais e um tanque-rede de reserva, para o caso de haver a necessidade de se fazer a manutenção dos demais (Figura 9). Nesses tanques os animais eram alimentados diariamente com pedaços de camarão e de peixes.

Vinte e quatro horas após a exposição às ondas sísmicas, 7 peixes de cada tanque-rede foram coletados e sacrificados, para que se pudessem obter amostras dos tecidos e órgãos desses animais. As amostras eram então transferidas para frascos previamente etiquetados e preenchidos com fixador de Davidson (AFA – Formado por Álcool, Ácido Acético, Água Destilada e Formol), durante um período de 24 horas, quando se realizava a troca do AFA para álcool 70% antes de serem enviadas para o laboratório do GIA para realização das análises histopatológicas. Tal procedimento amostral foi repetido a cada 10 dias, período que durou 40 dias até esgotar o número de animais inicialmente estocados.

Cada um dos 8 canhões de ar utilizados no presente trabalho possui capacidade total de 635 polegadas cúbicas e é alimentado por compressores de 2.000 psi. Este sistema foi especialmente desenvolvido para ser utilizado em áreas sensíveis, pois produz pulsos (ondas sísmicas) de baixa frequência (<100 Hz) e intensidade em torno de 196 dB ref 1  $\mu$ Pa-m, a uma profundidade média de 5,0 metros abaixo da linha d'água, a cada 9-11 segundos.

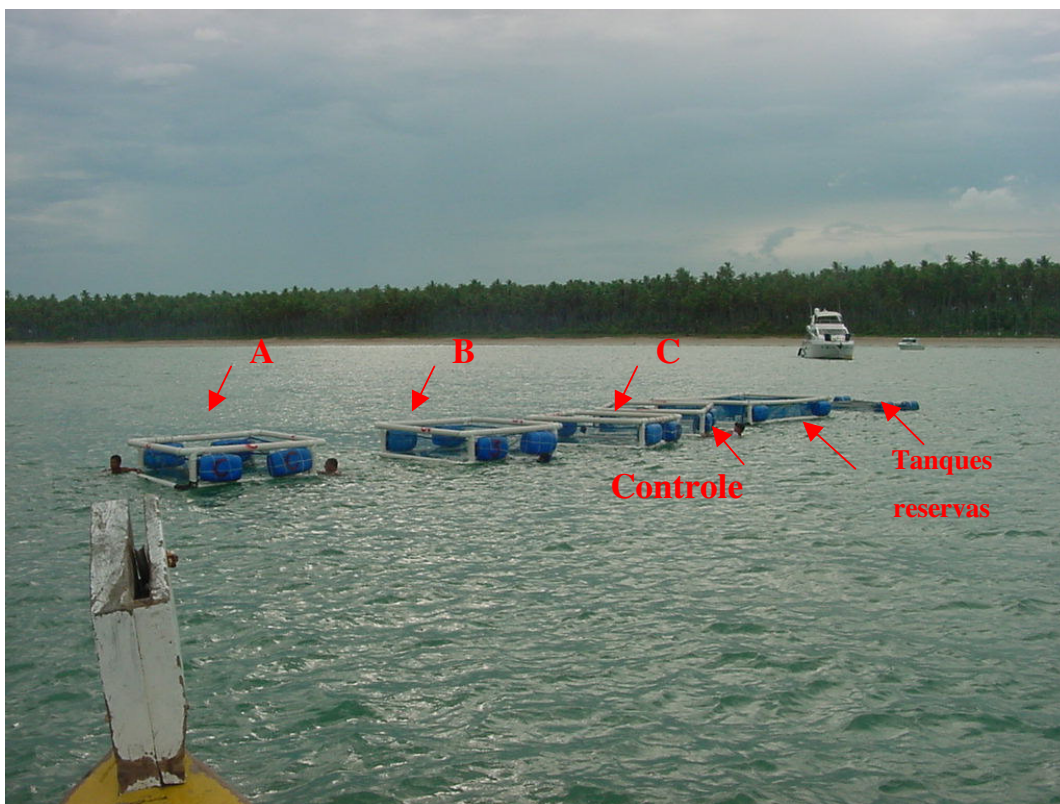


Figura 9. Tanques-rede montados próximo a Guarapuá e utilizados para manutenção dos peixes após a exposição às ondas sísmicas. As letras A, B e C indicam à que linha experimental pertenciam os peixes do tanque.

#### **4.2.5. Análises histológicas**

No Laboratório de Histologia do GIA, todo o material coletado foi submetido ao processamento de rotina (Behmer *et al.*, 1976) sendo desidratado em série alcoólica crescente, diafanizado em xileno, com posterior impregnação e inclusão em parafina histológica purificada a 56°C. Os blocos foram modelados e seccionados em um micrótomo Leica RM2125RT. Os cortes foram realizados com a espessura de 5 µm, em três pontos diferentes do tecido incluído em parafina. De cada órgão analisado, foram realizados três cortes, havendo um desgaste de 50 µm entre eles e corados com Hematoxilina de Harris e Eosina, para descrição histológica (Horobin e Bancroft, 1998). Como ferramenta para a diferenciação e identificação de alterações histológicas, utilizou-se, sempre que necessário, a Coloração Tricrômica de Mallory e a Reação Histoquímica Ácido Periódico de Schiff (PAS). As lâminas permanentes foram analisadas com o auxílio do microscópio Leica DMLS e do sistema de análise digital de imagem Software Leica Qwin Lite V. 2.4 (Imaging Solution Inc., 1998)

#### **Alterações Branquiais**

Todos os espécimes foram examinados quanto à presença de alterações celulares nas brânquias, utilizando as descrições de Ferguson (1989), Mallat, (1985), Ribelin e Migaki (1975).

As análises quantitativas foram realizadas por amostragem, em cada um dos três cortes histológico presentes na lâmina. De cada corte foram escolhidos, aleatoriamente, 3 filamentos branquiais dos quais, analisaram-se 5 lamelas branquiais a cada intervalo sucessivo de 10 dessas lamelas. Foi quantificado o número de lamelas que apresentavam uma ou mais alterações.

A extensão das alterações encontradas nas lamelas analisadas por uma determinada patogenia gerou o Índice de Impacto na Brânquia (IIBr) de cada indivíduo analisado. O IIBr foi calculado individualmente para cada patogenia estudada, podendo apresentar valores oscilando de 1,0 (valor máximo) a zero (valor mínimo = ausência de alterações histológicas) e foi calculado por meio da equação: Índice de Impacto Total na Brânquia (% lamelas alteradas) = (nº de lamelas alteradas / nº de lamelas analisadas)

#### **Alterações Encontradas na Bexiga Natatória**

Os espécimes capturados foram examinados quanto à presença de alterações celulares na parede da bexiga natatória, em locais responsáveis por adição de gás e manutenção da pressão de gás da bexiga.

A avaliação histopatológica deste órgão foi realizada em toda a área tecidual presente nos cortes histológicos. Foram realizadas análises identificando a presença ou a ausência de alterações nos diferentes tecidos que formam a parede da bexiga, atribuindo-se valor 0,2 (zero ponto dois) para a presença de cada alteração e valor 0 (zero) para a sua ausência, em cada um dos cortes analisados.

O valor 0,2 foi definido como um simples artifício de cálculo, não tendo nenhum outro propósito ou significado senão indicar matematicamente a existência de uma determinada patologia no órgão analisado.

Para cada patogenia detectada, foi calculado o valor médio dos índices de impacto quantificados nos três cortes analisados, valor considerado como o Índice de Impacto na Bexiga Natatória (IIBr), provocado pela respectiva patogenia, em cada indivíduo analisado.

### **Alterações Hepáticas**

Todos os espécimes coletados foram examinados quanto à presença de alterações celulares no parênquima hepático, utilizando as descrições de Riberlin and Migaki (1975); Hibiya (1982); Ferguson (1989); Brasileiro (1994).

Para a avaliação quantitativa dos resultados obtidos, realizou-se aleatoriamente a captura da imagem de 5 campos do microscópio óptico por corte histológico, totalizando 15 campos por órgão, em um aumento de 400x, para cada um dos indivíduos analisados. Em cada um destes campos de análise, foi obtida a medida das áreas afetadas pelas patologias existentes, com auxílio do software de análises digitais Software Leica Qwin Lite V. 2.4 (Imaging Solution Inc., 1998)

Para cada alteração histológica detectada, foi calculada a extensão relativa dos danos provocados pela mesma. A extensão dos danos deve ser aqui entendida como a área hepática (hepatócitos, ductos biliares e vasos sanguíneos) alterada em relação à área hepática analisada, segundo a seguinte equação: Índice de Impacto no fígado = (área alterada/área total analisada).

Cada alteração detectada foi tratada individualmente por campo analisado. O índice de impacto obtido pode apresentar valores oscilando de 1,0 (valor máximo) a zero (valor mínimo = ausência de patologias).

#### **4.2.6. Análises Estatísticas**

Uma vez gerados os Índices de Impacto no fígado, brânquias e bexiga natatória para cada um dos peixes analisados, esses dados foram tratados através do pacote estatístico Statistica<sup>®</sup> versão 6.0 (StatSoft Inc).

Os índices de impacto obtidos foram submetidos a um teste de homogeneidade, através do teste de Shapiro-Wilk, com nível de 5% de probabilidade. Quando confirmado que não se ajustavam à curva normal de Gauss, foram realizados testes comparativos entre medianas, através de metodologia não-paramétrica, utilizando-se testes de Kruskal-Wallis (para comparação entre várias variáveis independentes), Mann-Whitney e Kolmogorov-Smirnov (para comparação entre duas variáveis independentes), ao nível de 95% de confiabilidade.

### 4.3. Resultados

#### 4.3.1. Sobrevivência dos peixes utilizados no experimento

Foi registrada a morte de alguns peixes no dia seguinte ao experimento, a maior quantidade de mortes foi registrada no tratamento controle e o menor número de peixes mortos foi registrado no tratamento 0 metros (Tabela 3). Não foram observadas alterações comportamentais nos peixes sobreviventes que pudessem indicar a ocorrência de impactos orgânicos significativos, durante os 30 dias de observação.

Tabela 3. Sobrevivência dos peixes no dia seguinte ao experimento.

	CONTROLE	0 M	50M	100M
Óbitos-04/02/04	19 = 63,3%	7 = 23,3 %	12 = 40%	8 = 26,6
24/02/04	4	7	7	7
04/03/04	4	6	6	5
14/03/04	3	5	3	5
24/02/04	0	5	2	5
Total avaliados	11	23	18	22
Total	30	30	30	30

#### 4.3.2. Impactos nas Brânquias

A percentagem média de lamelas branquiais comprometidas por alterações patológicas foi sempre muito baixa, não passando de 0,17% por patologia. Nenhuma das diferenças observadas foi considerada significativa pelos testes estatísticos empregados (Tabela 4).

Tabela 4. Níveis de significância estatística (p) obtidos através de Teste de Kruskal-Wallis, onde Índice de Impacto nas Brânquias (variável dependente) foi testada em relação as seguintes variáveis independentes: data de coleta do material biológico dos peixes, tratamentos.

PATOLOGIA	Comparação Estatística	
	Alterações x Data	Alterações x Tratamentos
Aneurisma	0,08	0,99
Ausência do epitélio	1,00	1,00
Congestão	0,08	0,99
Descamação	0,08	0,99
Descolamento (edema)	0,08	0,99
Desestruturação	0,08	0,99
Hemorragia	0,08	0,99
Hiperplasia	0,08	0,99
Infiltração leucocitária	0,08	0,99
Presença de parasitos	0,08	0,99
Vacuolização do epitélio lamelar	0,08	0,99

#### 4.3.3. Impactos na Bexiga Natatória

As análises estatísticas indicaram que apenas em relação à ruptura do tecido conjuntivo

houve variação temporal significativa dos índices de impacto quantificados. Por outro lado, das 7 alterações investigadas, 3 podem ser eliminadas a priori, pois não apresentaram diferenças significativas dos tratamentos em relação ao grupo controle, nem quando a análise considerou os tratamentos experimentais individualmente (Tabela 5). São elas: necrose da rete mirabile, desestruturação do epitélio secretor e descamação do epitélio de revestimento.

Tabela 5. Níveis de significância estatística (p) obtidos através de Teste de Kruskal-Wallis, onde o Índice de Impacto na Bexiga Natatória (variável dependente) foi testada em relação às seguintes variáveis independentes: data de coleta do material biológico e tratamentos.

Alterações		Comparação Estatística	
		Patologia x Data	Patologia x Tratamentos individualizados
Epitélio de revestimento	Descolamento	0,34	0,01
	Descamação	0,09	0,32
Tecido conjuntivo	Ruptura	0,00	0,18
	presença de pigmento	0,26	0,02
Rete	Congestão	0,12	0,01
Miriabile	Necrose	1,00	1,00
Epitélio secretor	Desestruturação	1,00	1,00

Em relação à presença de pigmentos no tecido conjuntivo (Figura 10) e à congestão da rete mirabile (Figura 11), os índices de impacto quantificados no controle foram significativamente superiores aos observados nos tratamentos experimentais.

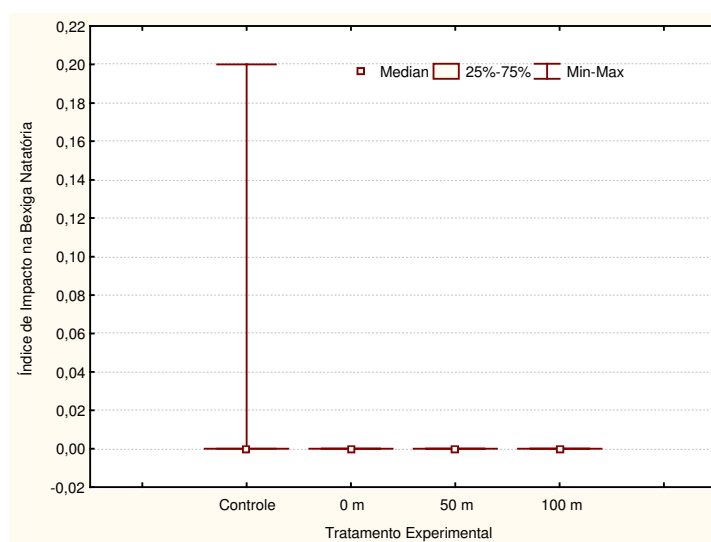


Figura 10. Presença de pigmentos no tecido conjuntivo. Variação do IIBr nos diferentes tratamentos experimentais utilizados.

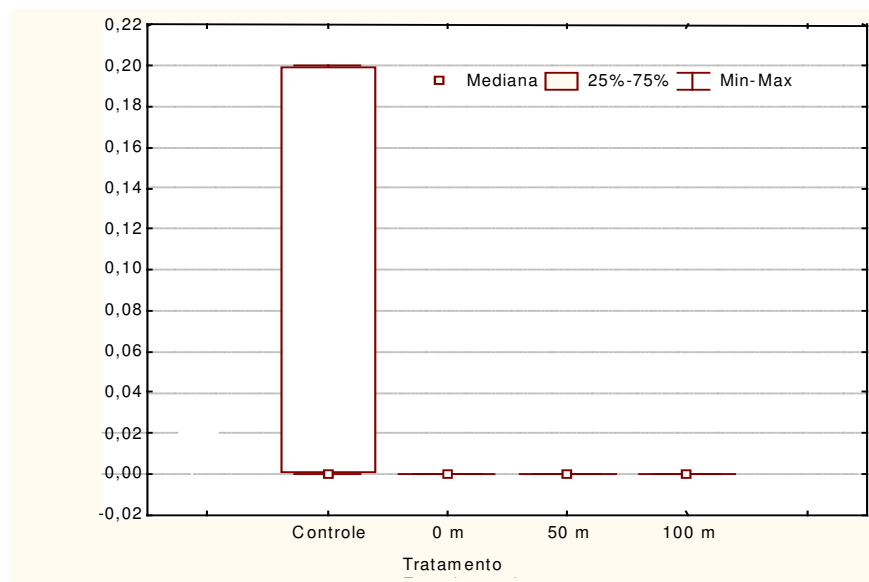


Figura 11. Congestão da rete mirabile. Variação do IIBr nos diferentes tratamentos experimentais utilizados.

Em relação ao descolamento do epitélio de revestimento (Figura 12), não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre os valores quantificados no controle e no tratamento 100 m. No entanto, ambos apresentaram maior índice de impacto do que o observado nos tratamentos 0 m e 50 m, descaracterizando-se qualquer relação dessa alteração patológica com a exposição dos peixes aos disparos sísmicos.

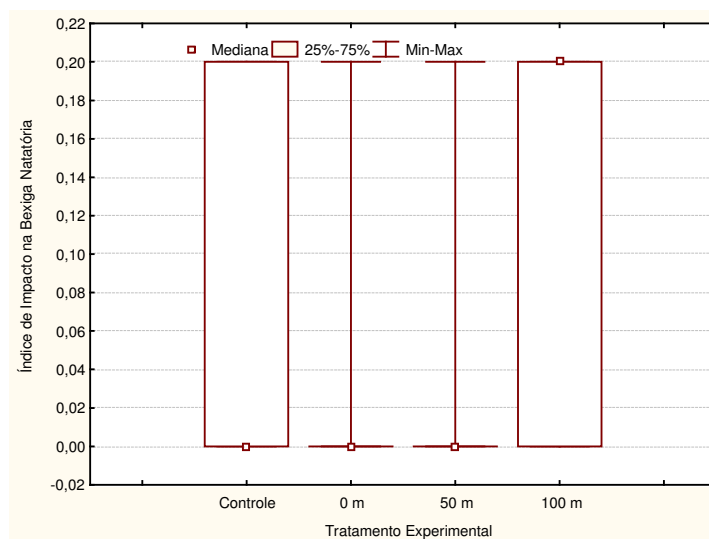


Figura 12. Descolamento do epitélio de revestimento, variação do IIBr nos diferentes tratamentos experimentais utilizados.

A análise da variação temporal da ruptura do tecido conjuntivo indicou uma ligeira tendência de aumento dos níveis de impacto ao longo do período de estudo (Figura 13 A).

A ruptura do tecido conjuntivo foi maior nos tratamentos experimentais, quando analisados de forma agrupada, do que no controle (Figura 13 B). No entanto, quando os tratamentos foram analisados individualmente, as diferenças não se mostraram significativas ( $p>0,05$ ) (Figura 13 C).

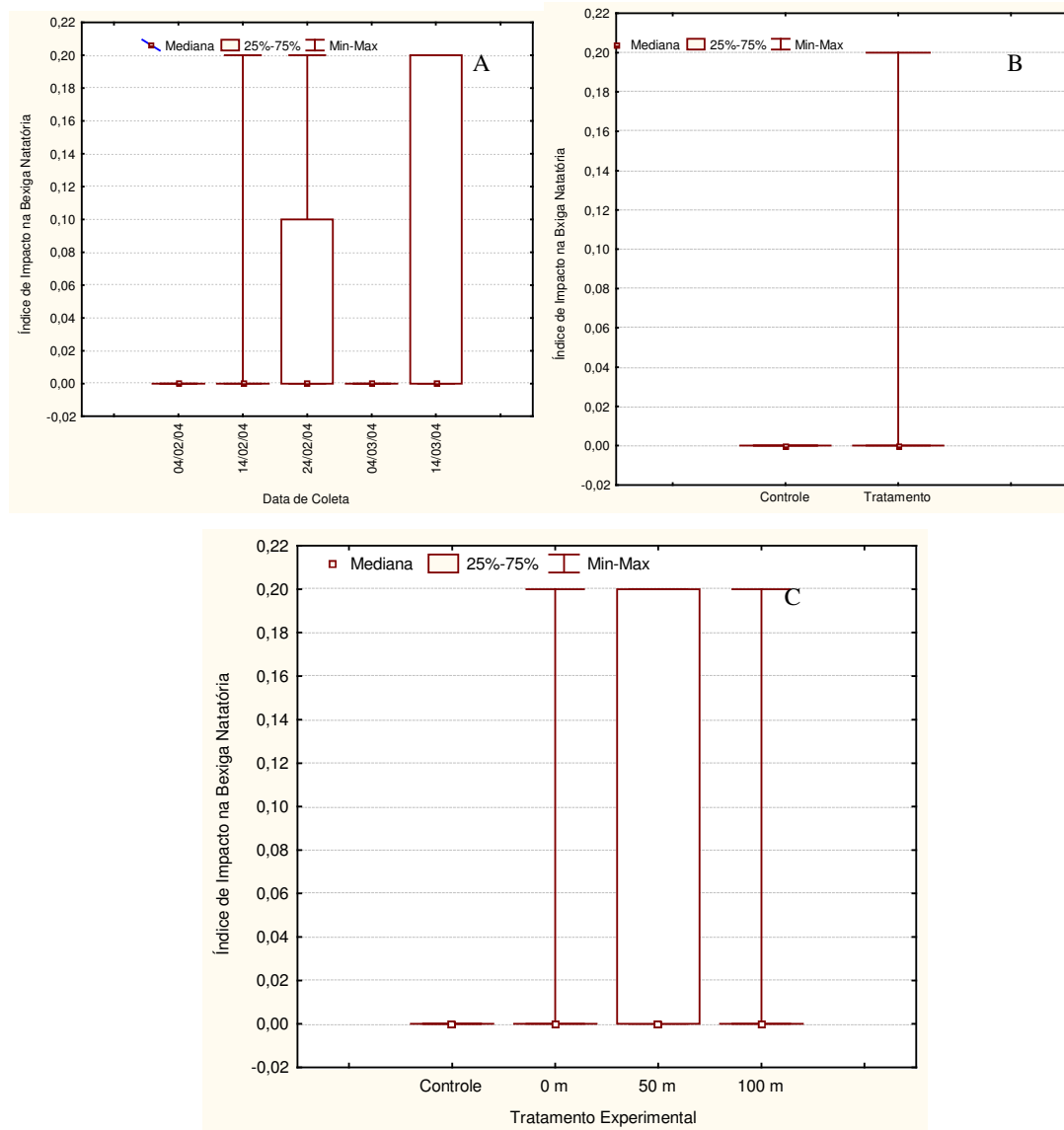


Figura 13. Ruptura do tecido conjuntivo. Variação temporal do IIBr durante o experimento (A); comparação do IIBr nos tratamentos agrupados, em relação ao controle (B); variação do IIBr no controle e nos demais tratamentos individualmente (C).

#### 4.3.4. Impactos no Fígado

Para realização das análises comparativas das alterações detectadas no fígado foram utilizados, ao todo, 71 peixes. Neste caso, o número total de campos analisados em microscópio óptico, sob aumento de 400 x, chegou a 1065 (Tabela 6).



Tabela 6. Número de peixes analisados, quantidade de campos avaliados conforme cada peixe em cada coleta e o número total de campos analisados em cada tratamento.

Tratamento	Nº de peixes	Campos/peixe/coleta	Nº total de campos
Controle	11	15	165
0m	22	15	330
50m	17	15	255
100m	21	15	315

Dentre as 13 alterações identificadas, duas foram mais freqüentes em peixes do grupo controle que nos tratamentos experimentais (esteatose macrovesicular e a presença de vacúolos intracitoplasmáticos em hepatócitos). Nenhuma das alterações identificadas seguiu o padrão clássico de respostas: alterações patológicas diretamente proporcionais à proximidade do agente estressor.

Somente duas das alterações observadas não apresentaram significância estatística: congestão sanguínea e dilatação do ducto biliar. Já a esteatose macrovesicular não apresentou diferenças dos IIF causados a peixes do grupo controle ou dos demais tratamentos, o que a descaracteriza como decorrente da exposição dos animais aos disparos sísmicos (Tabela 7). A presença de vacúolos intracitoplasmáticos em hepatócitos foi uma alteração patológica verificada em maior prevalência em peixes do grupo controle do que em peixes dos demais tratamentos experimentais, como pode ser constatado na Figura 14.

Tabela 7. Níveis de significância estatística (p) obtidos através de Teste de Kruskal-Wallis, onde o Índice de Impacto no fígado (variável dependente) foi testada em relação às seguintes variáveis independentes: data de coleta do material biológico dos peixes utilizados no experimento; tratamentos experimentais individualmente (controle x 0 m x 50 m x 100 m).

PATOLOGIA	Comparação Estatística	
	Patologia x Data	Patologia x Tratamentos
Cariopícnose	0,18	0,03
Congestão sanguínea	1,00	1,00
Corpo apoptótico - degeneração hialina	0,00	0,04
Degeneração gordurosa (esteatose macrovesicular)	0,00	0,09
Degeneração gordurosa (esteatose microvesicular)	0,00	0,00
Degeneração hidrópica	0,00	0,00
Degeneração vacuolar do núcleo dos hepatócitos	0,00	0,00
Dilatação de sinusóides	0,00	0,00
Ducto biliar dilatado	1,00	1,00
Infiltração leucocitária	0,09	0,07
Necrose de coagulação	0,00	0,12
Presença anormal de pigmentos biliares	0,00	0,00
Presença de vacúolos intracitoplasmáticos em hepatócitos	0,00	0,00

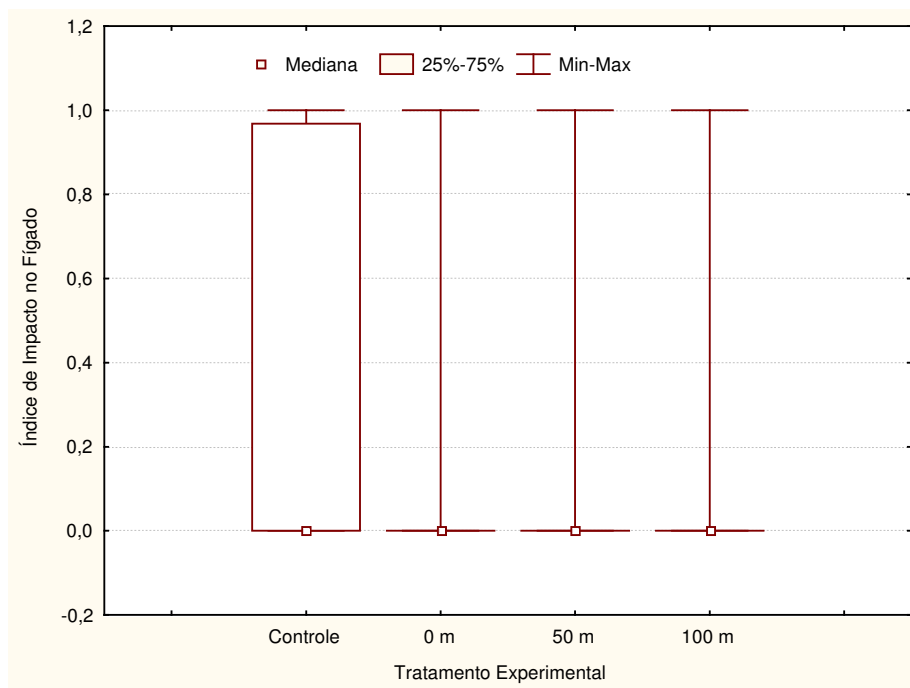


Figura 14. Presença de vacúolos intracitoplasmáticos em hepatócitos, distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma individual.

Quatro alterações apresentaram padrões bastante semelhantes entre si: a presença anormal de pigmentos biliares, a dilatação de sinusóides, a degeneração vacuolar do núcleo dos hepatócitos e a cariopcnose.

No caso da presença anormal de pigmentos biliares (Figura 15 A) e da dilatação de sinusóides (Figura 16 A) não foram detectadas diferenças significativas entre o controle e os tratamentos, quando esses foram analisados de forma agrupada. No entanto, o tratamento 0 m foi significativamente distinto do controle e dos demais tratamentos, para presença anormal de pigmentos biliares o que poderia sugerir uma relação de nexo causal com a exposição aos disparos sísmicos (Figura 15 B). E no tratamento 50 metros o IIF foi maior para dilatação de sinusóides, quando comparado com os demais tratamentos (Figura 16 B). Nesse caso, a análise da variação temporal dos IIF (Figura 15 e 16 C) torna-se bastante importante para a compreensão dos fatos. Em apenas uma das coletas realizadas o IIF apresentou distribuição de dados distinta das demais análises. Isso ocorreu no dia 24/02/04, 21 dias, portanto, após o início do experimento. Na análise seguinte, a distribuição dos dados já havia retomado o padrão anterior. Esse padrão de variação descaracteriza a relação de nexo causal com a exposição às ondas sísmicas.

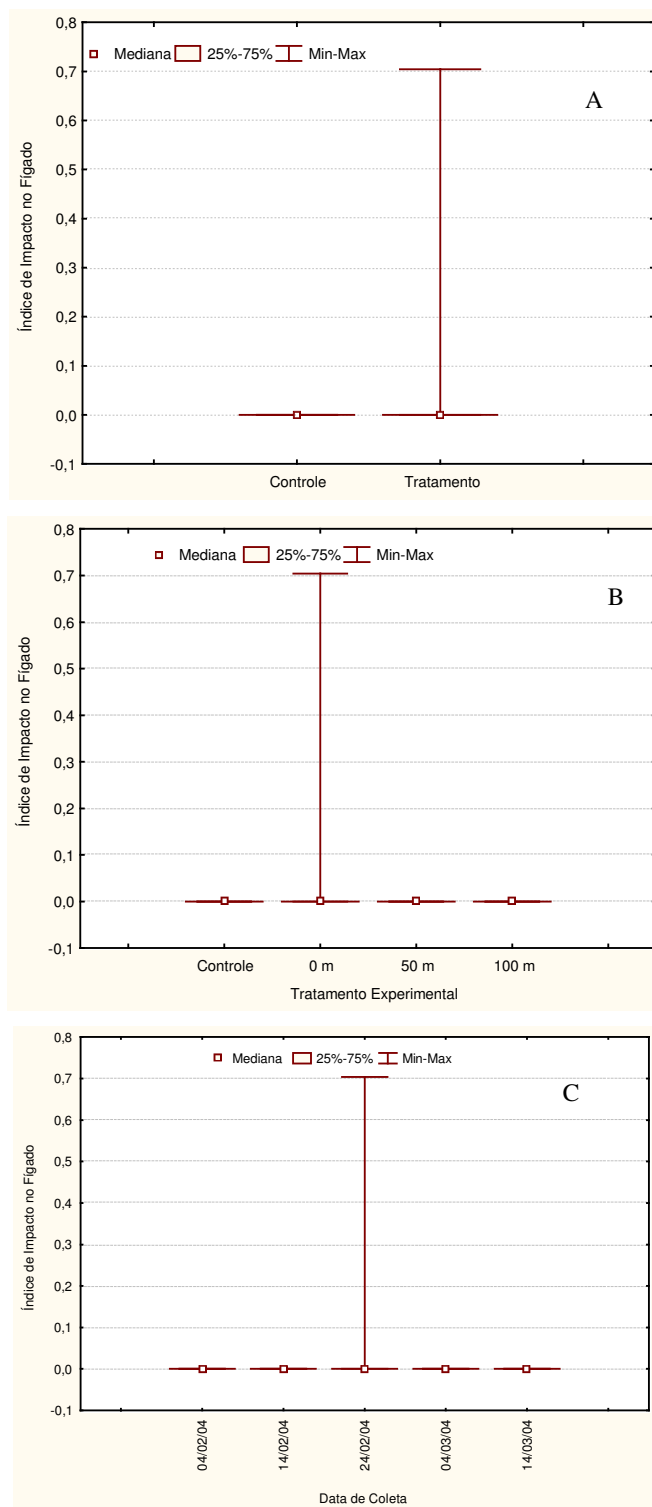


Figura 15. Presença anormal de pigmentos biliares. distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma agrupada (A); distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma individual (B); Variação temporal dos IIF (C).

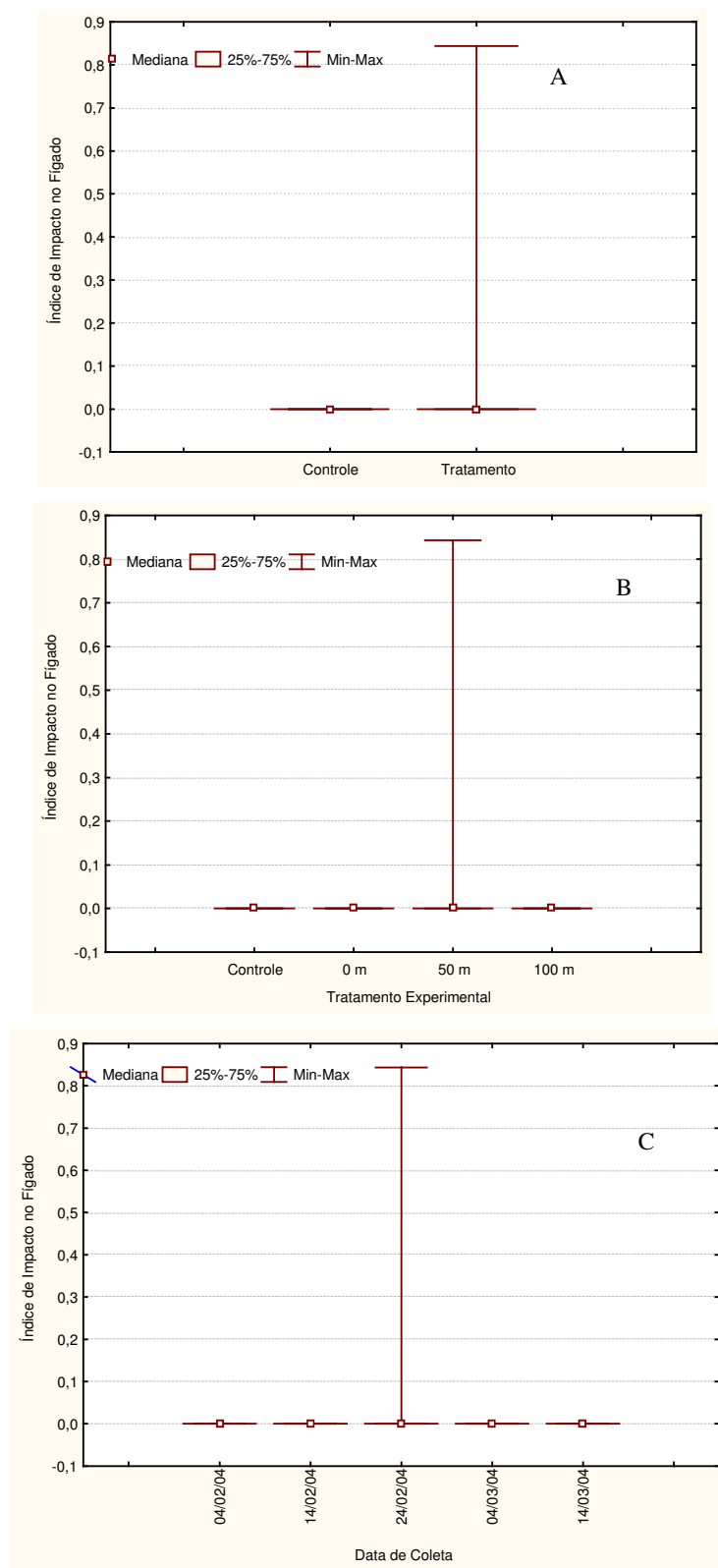


Figura 16. Dilatação de sinusóides, distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma agrupada (A); distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma individual (B); Variação temporal dos IIF (C).

Em relação à degeneração vacuolar do núcleo dos hepatócitos (Figura 17 A, B, C), apenas a data em que ocorreu uma variação anormal dos dados foi diferente, dia 14/02/04. Mas, assim como nos casos anteriores, não há evidência para se creditar à exposição sísmica uma alteração que foi detectada em apenas uma ocasião, duas semanas após a exposição dos peixes aos disparos sísmicos e em uma distância intermediária da fonte de emissão sísmica.

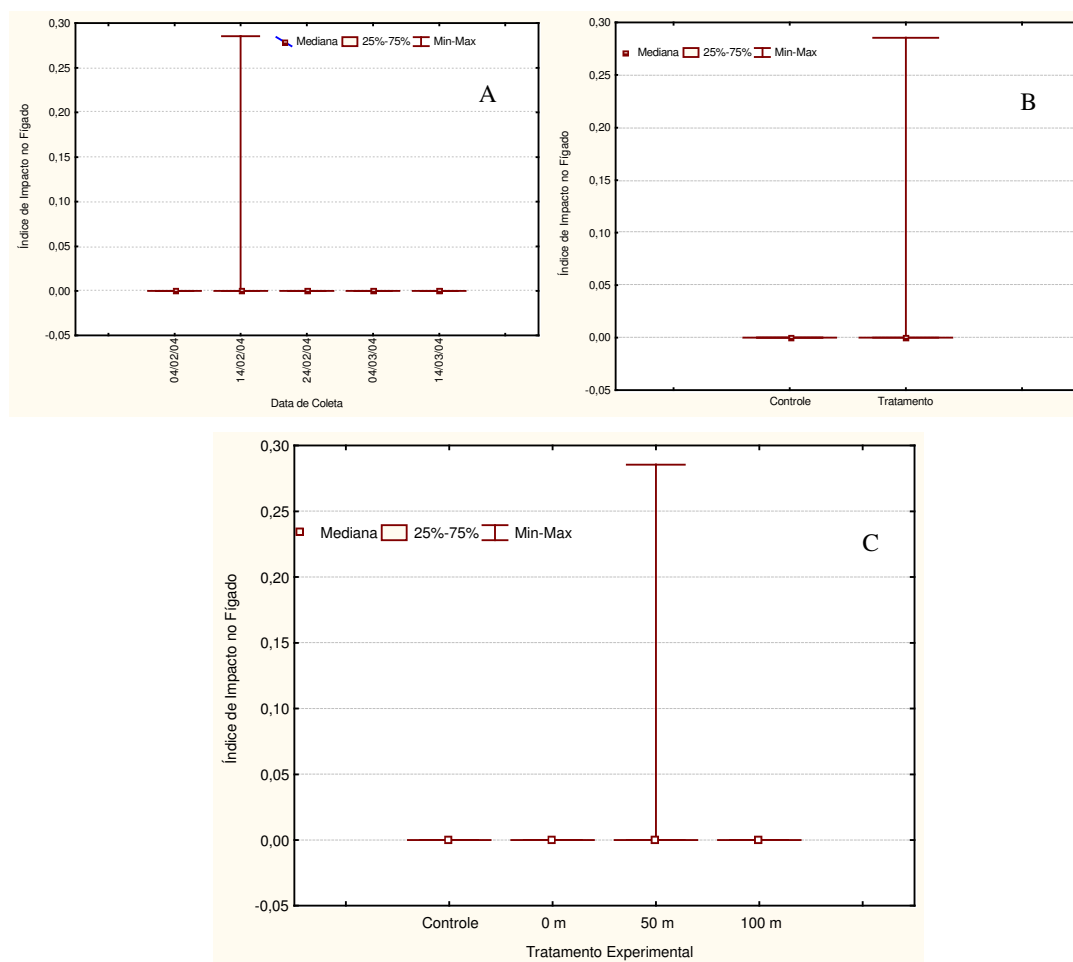


Figura 17. Degeneração vacuolar do núcleo dos hepatócitos. (A) Variação temporal dos IIF; (B) distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma agrupada; (C) distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma individual.

A avaliação da ocorrência de cariopícnose aponta para uma variação anormal do IIF na coleta do dia 14/02/04 (Figura 18 A). Tal alteração ocorreu no tratamento 50 m (Figura 18 B) e fez com que a comparação dos resultados obtidos no controle e nos tratamentos, de forma agrupada, indicasse a ocorrência de diferenças estatisticamente significativas (Figura 18 C) exatamente como no caso citado acima, com degeneração vacuolar do núcleo dos hepatócitos.

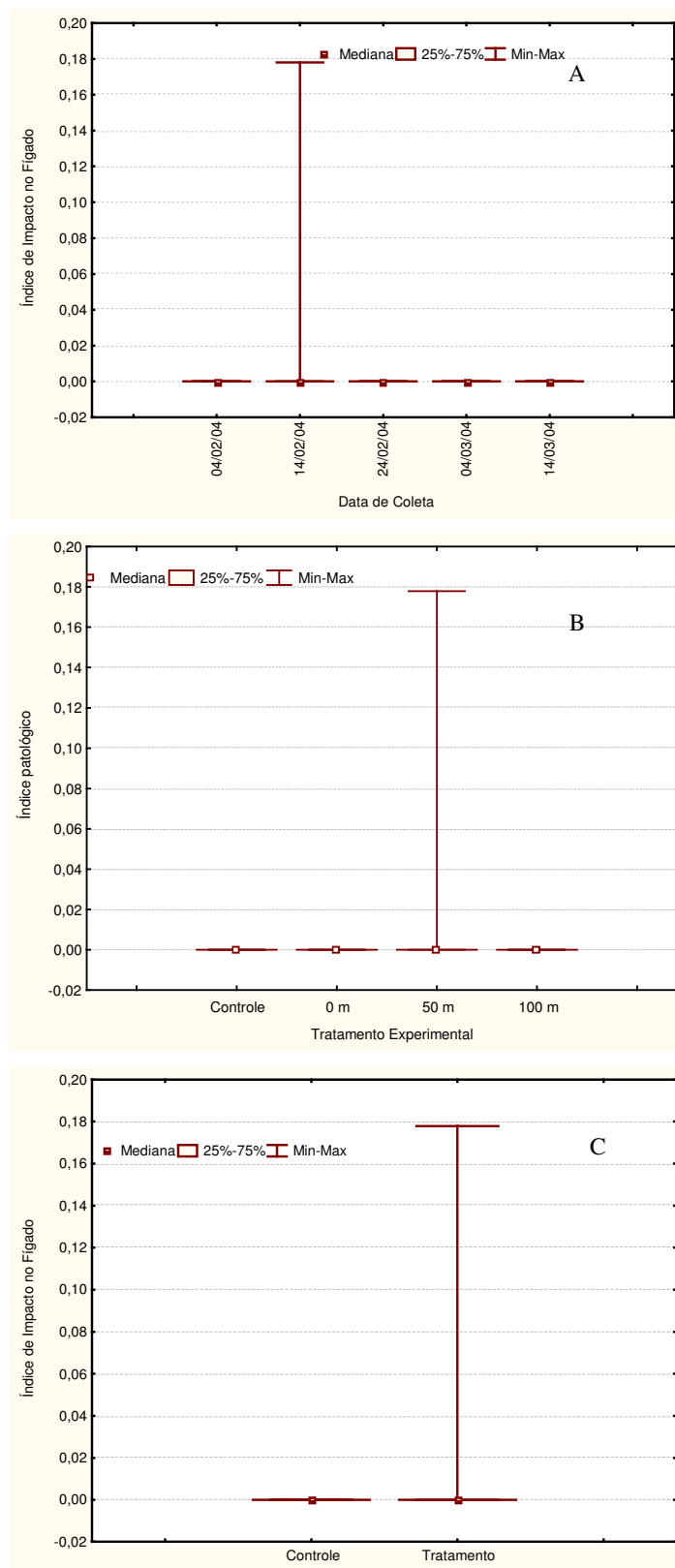


Figura 18. Caripcnose. Variação temporal dos IIF (A); distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma individual (B); distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma agrupada (C).

A infiltração leucocitária, por sua vez, foi observada em maior prevalência em peixes dos tratamentos do que do grupo controle (Figura 19 A). Todavia, neste caso, o tratamento que apresentou diferença significativa dos demais foi o de 100 m e não o de 0 m (Figura 19 B), como seria esperado caso a proximidade com os disparos sísmicos provocassem o surgimento de tal alteração.

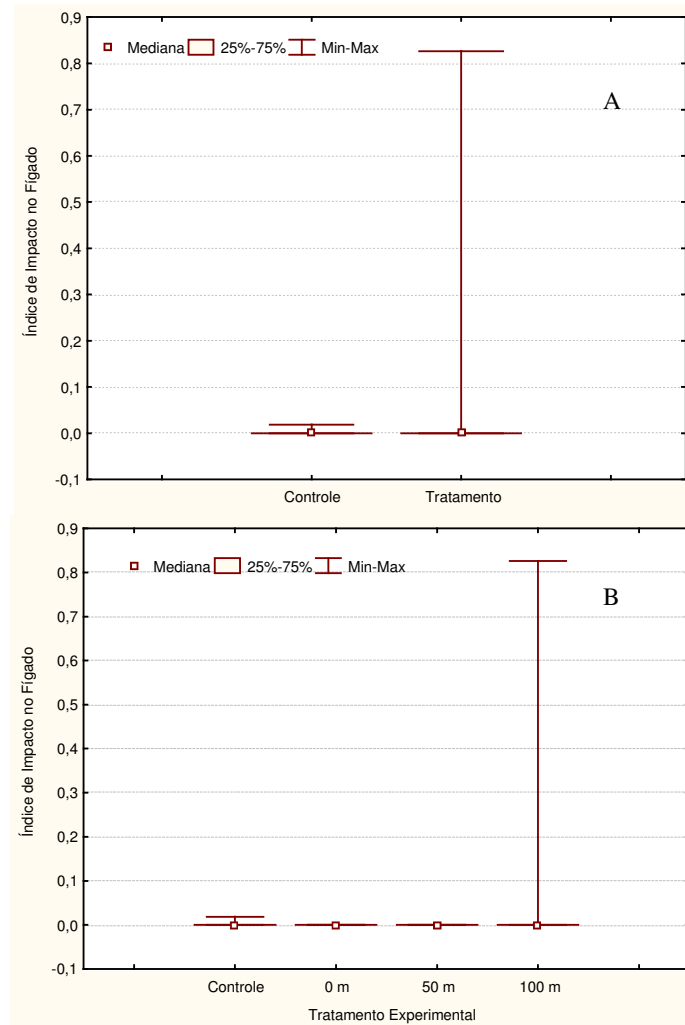


Figura 19. Infiltração leucocitária, distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma agrupada (A); distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma individual (B).

Em relação à necrose da coagulação, não foram observadas diferenças significativas quando da comparação do controle contra os tratamentos agrupados (Figura 20 A). No entanto, as variações temporais dos índices obtidos ao longo do experimento (Figura 20 B) e a comparação dos dados obtidos no controle e nos tratamentos, analisados individualmente (Figura 20 C), apresentaram diferenças significativas.

Analisando-se a variação temporal dos IIF, observa-se que a primeira e a última coleta apresentaram valores semelhantes entre si e distintos dos quantificados nas demais coletas. Os

valores quantificados no controle, por sua vez, foram estatisticamente semelhantes aos observados nos tratamentos 0 m e 50 m, sendo, entretanto, menores do que os quantificados no tratamento 100 m. O padrão observado não descaracteriza totalmente uma relação de nexos causal entre os fatores avaliados, todavia, as análises estatísticas também não comprovaram que a exposição dos peixes às ondas sísmicas provocaram o surgimento de necrose de coagulação no fígado dos peixes.

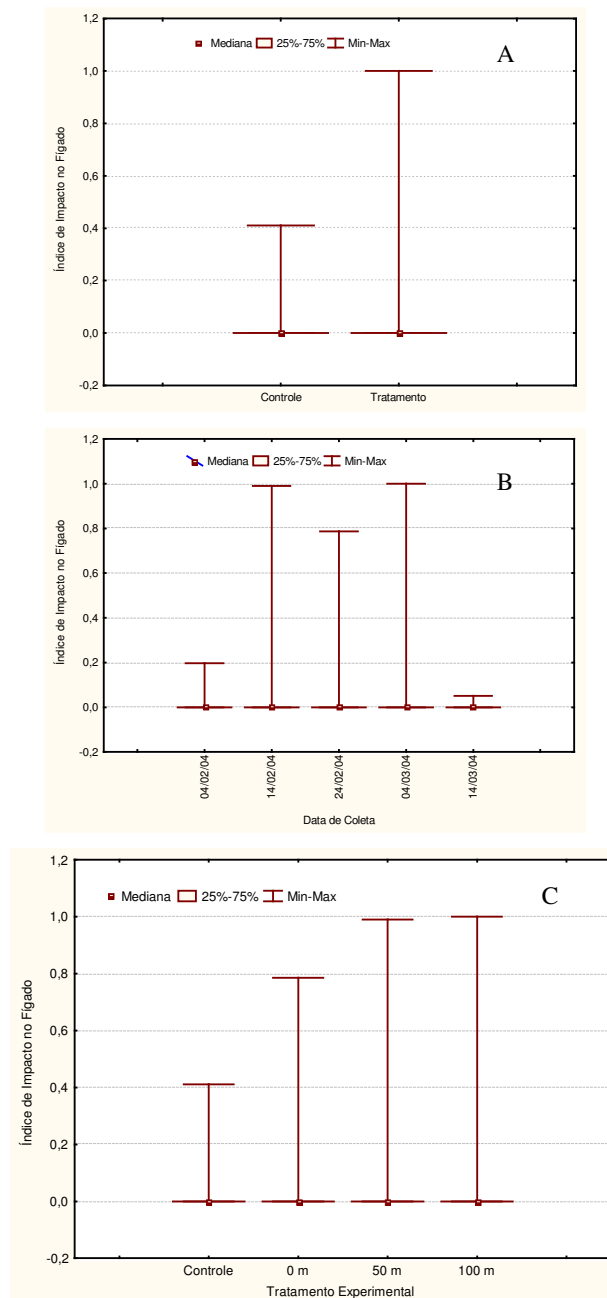


Figura 20. Necrose da coagulação, distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma agrupada (A); Variação temporal dos IIF (B); distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma individual (C).



A degeneração hidrópica foi uma das alterações que mais se aproximou do padrão de causa/efeito esperado para os casos em que o agente estressor provoca impactos sobre os indivíduos a ele expostos. Os IIF provocados em peixes dos tratamentos foram estatisticamente superiores aos quantificados em peixes do grupo controle (Figura 21 A). Porém, há que se considerar que os tratamentos não diferiram entre si. Ou seja, que o impacto foi o mesmo, independentemente da distância dos peixes da fonte geradora de ondas sísmicas (Figura 21 B).

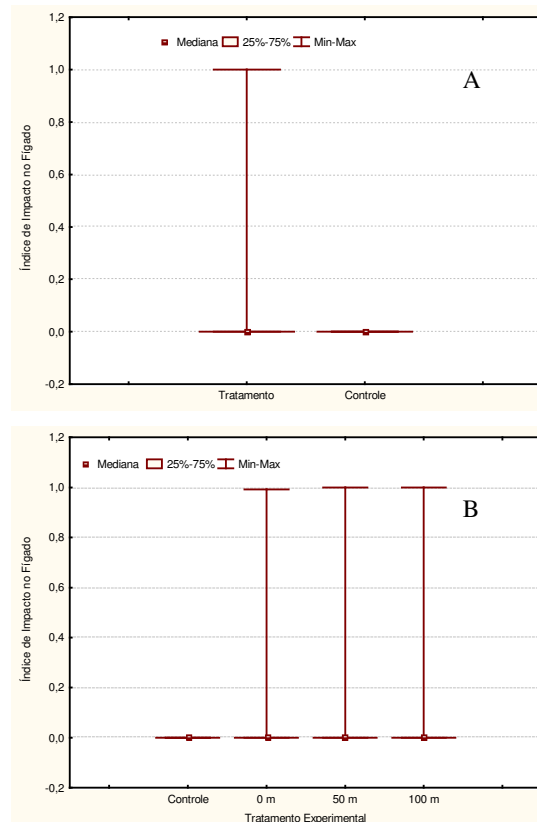


Figura 21. Degeneração hidrópica, distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma agrupada (A); distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma individual (B).

A esteatose microvesicular também foi quantificada em maior prevalência nos tratamentos do que no controle, quando analisado de forma agrupada (Figura 22 A). Além disso, foi observada uma tendência de redução do IIF ao longo do experimento (Figura 22 B). Porém, nesse caso o tratamento que apresentou os maiores índices de impacto foi o de 50 m, seguido pelo tratamento 0 m. O tratamento 100 m não apresentou resultados diferentes do controle (Figura 22 C).

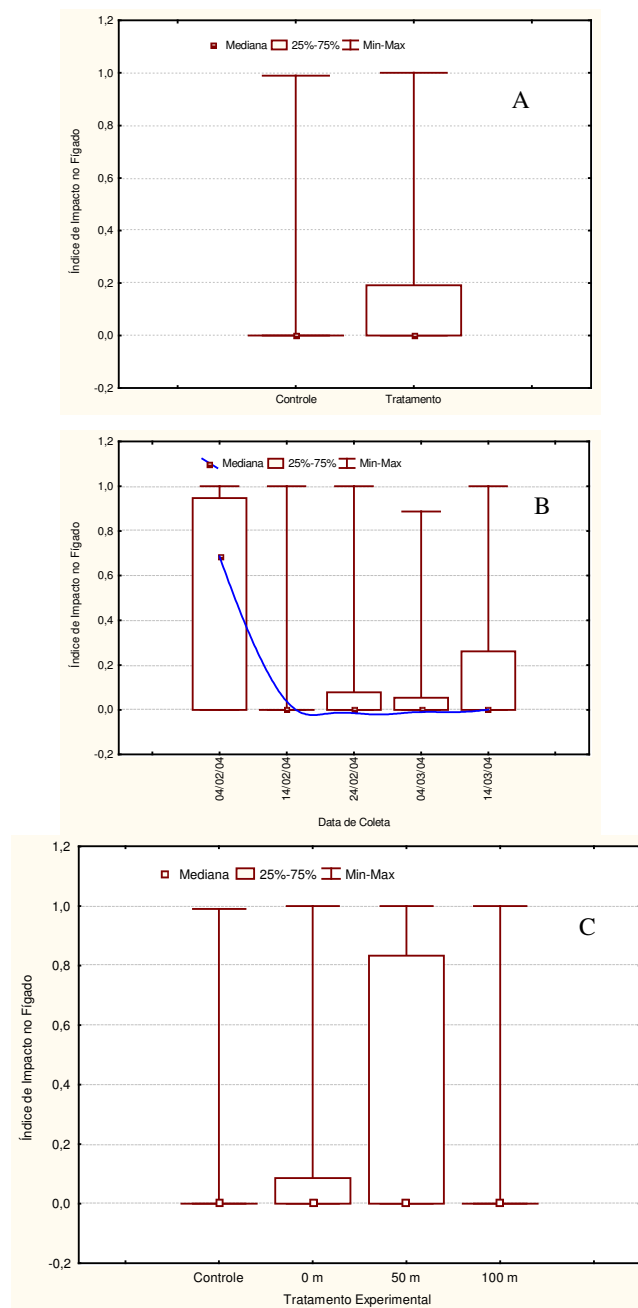


Figura 22. Esteatose microvesicular, distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma agrupada (A); Variação temporal dos IIF (B); distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma individual (C).

Em relação à degeneração hialina, os impactos observados no grupo controle foram inferiores aos quantificados nos tratamentos, quando analisados de forma agrupada (Figura 23 A). No entanto, as diferenças entre os tratamentos analisados individualmente não foram estatisticamente significativas (Figura 23 B).

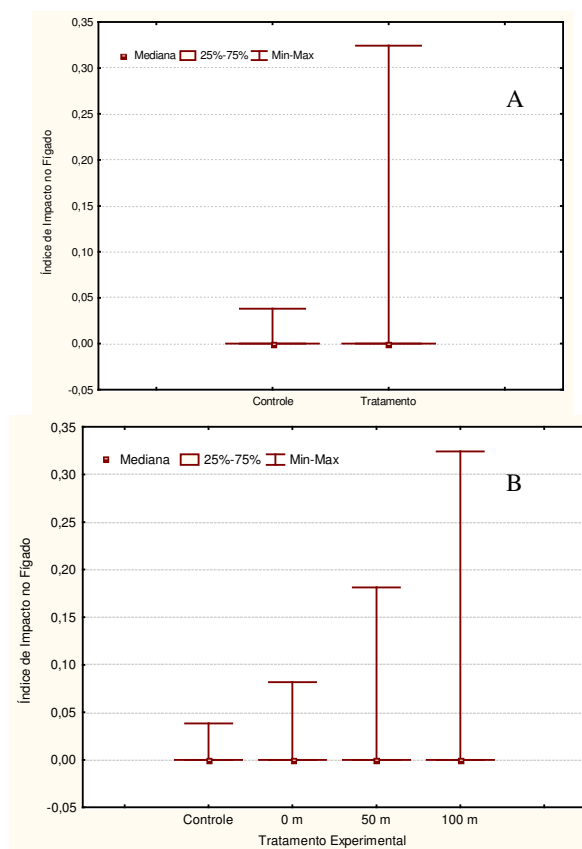


Figura 23. Degeneração hialina, distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma agrupada. (A); distribuição dos dados no controle e nos tratamentos experimentais analisados de forma individual (B).

#### 4.3.5. Análise geral dos resultados obtidos no experimento e Discussão

Em um estudo realizado no Lago Erie, Chamberlain (1976) afirma que explosões com 30 kPa de pressão são letais para os peixes. Prejuízos mínimos à saúde dos peixes foram observados com pressões de 0.5 e 1 kPa de pressão. A pressão utilizada nos equipamentos sísmicos no momento do disparo de ar comprimido neste estudo foi de 1  $\mu$ Pa, consideravelmente mais baixa do que no estudo desenvolvido por Chamberlain (*op cit*). A mortalidade ocorrida no dia seguinte ao experimento, provavelmente, foi causada em função do manejo excessivo a que os animais foram submetidos (colocação e retirada dos animais das gaiolas, seu transporte até o local onde foi realizado o experimento, e transporte até o local utilizado para mantê-los antes e após o experimento). Tal afirmação fundamenta-se no fato de que morreu um número maior de peixes do grupo controle. Em função da metodologia utilizada, peixes desse grupo ficaram menos tempo se acondicionando nas gaiolas, porque tinham que ser retirados antes da passagem do navio sísmico na área utilizada para o experimento.

Entretanto, em todos experimentos aqui realizados, onde os peixes foram diretamente expostos aos disparos sísmicos, discordam dos resultados obtidos por Saila *et al.* (1993) e Larson (1985) *apud* Wardle *et. al.*(2001), Yelverton e Richmond (1981) pois não foi observada nenhuma mortalidade causada pela exposição aos disparos de ar comprimido. Nos experimentos realizados por esses pesquisadores a intensidade utilizada nos canhões de ar foi consideravelmente maior que a usada na presente investigação. Nos trabalhos desenvolvidos por Yelverton e Richmond (1981) Dalen *et al.* (1996) e Orphan Basin SEA Report (2003) foram observadas mortalidades ou danos à saúde dos peixes submetidos aos disparos sísmicos em distâncias menores de 1,5 metros da fonte sísmica. Já este estudo utilizou uma distância mínima de 5 metros entre as gaiolas e a fonte geradora dos disparos sísmicos, consideravelmente maior que a utilizada nos experimentos que foram registradas morte dos peixes.

Analisando-se os resultados globais obtidos nos experimentos, isto é, não mais considerando as alterações patológicas de forma individual, mas sim o conjunto das alterações quantificadas em cada órgão, observa-se que os impactos quantificados na bexiga natatória não foram afetados pela data de coleta do material biológico. Também não houve diferença estatística entre os resultados obtidos no grupo controle e nos demais tratamentos, quando analisados de forma agrupada, ou mesmo quando todos os tratamentos foram tratados de forma individual. Sendo assim, não há evidências científicas de que a exposição dos peixes aos canhões de ar tenha provocado o surgimento de patologias na bexiga natatória dos peixes analisados.

Em relação às brânquias, foram identificadas diferenças estatísticas. Contudo, elas ocorreram apenas em relação às variações temporais das alterações observadas. Também neste caso, não houve diferença estatística entre os resultados obtidos no grupo controle e nos demais tratamentos quando analisados de forma agrupada, ou mesmo quando todos os tratamentos foram tratados de forma individual. Dessa forma, não há evidências científicas de que a exposição dos peixes aos canhões de ar tenha provocado o surgimento de patologias nas brânquias dos peixes analisados.

Em relação ao fígado, foram detectadas diferenças estatísticas em todos os itens avaliados. Em relação à comparação entre os IIF quantificados individualmente nos diferentes tratamentos experimentais, os impactos quantificados no controle não diferiram significativamente daqueles quantificados no tratamento 100 m, mas ambos foram inferiores aos quantificados nos tratamentos 0 m e 50 m (controle = 100 m) < 0 m < 50m.

A interpretação dos resultados das análises realizadas permitem afirmar que, em relação à variação temporal do IIF, os impactos quantificados no fígado 24 h após a realização do experimento foram significativamente ( $p < 0,05$ ) mais elevados que os quantificados em todas as outras coletas. Entretanto, os impactos quantificados na terceira coleta foram significativamente maiores que os da segunda, quarta e quinta coletas (Impactos: 1ª coleta > 3ª coleta > (2ª coleta = 4ª coleta = 5ª coleta).

Essa relação temporal é compatível aos resultados obtidos por Santulli *et al.* (1999), Mann *apud* Mc Cauley *et al.* (2002), Sverdrup *et al.* (1994), que identificaram a ocorrência de alterações

negativas no estado físico ou biológico dos peixes, constatando que os animais retornaram ao seu estado normal de saúde após diferentes períodos. Porém, discordam dos resultados obtidos por Mac Cauley 2002, seu estudo afirma que disparos de ar comprimido com intensidade de 222.6 dB causam danos significativos nas células ciliadas do tecido do ouvido do peixe *Pragus auratus*, não retornando ao normal após 58 dias.

Como Gausland (2003) afirma, as pesquisas realizadas por diferentes autores que trabalham com os impactos da atividade sísmica sobre peixes são realizadas utilizando-se medidas de pressão variadas ou não especificadas, números distintos de canhões de ar, frequências variadas, espécies e condições geográficas desiguais e, principalmente, ferramentas de análises distintas, o que dificulta a avaliação comparativa dos impactos (Tabela 8).

Tabela 8. Comparação dos estudos de avaliação de impacto da sísmica em peixes por vários autores.

Autor e ano	Espécies estudadas	Especificações da sísmica	Tipo de experimento	Resultado	Observações
Yelverton e Richmond (1981)	Oito espécies de peixe	230 dB	Exposição dos peixes presos em tanques de laboratório	50 % de mortalidade	Menos de 1,5 metros de distância.
Larson (1985)	<i>S. salar</i>	255dB ~2.75 x 10	Exposição dos peixes presos em tanques de laboratório	Mortalidade significativa dos peixes expostos aos disparos de ar comprimido	Condições extremas, menos de 1,5 metros de distância
Svedrup (1994)	<i>S. salar</i>	280 dB ~2 Mpa pressão	Exposição dos peixes presos em tanques de laboratório	Danos na estrutura do endotélio vascular da aorta ventral	Os danos regrediram após uma semana. Condições consideradas extremas pelos autores.
Santulli et al. (1999)	<i>D. labrax</i>	2 arranjos com 8 canhões de ar cada 290 dB 200 HZ	Exposição dos peixes presos em gaiolas	Variações no cortisol, glucose, lactato, ADP e ATP. Nenhuma mortalidade. E nenhum indício de danos no esqueleto.	Após 72 horas os padrões normais já haviam se restabelecido.
Mac Cauley et al. (2000)	Várias espécies	20 canhões de ar	Exposição dos peixes presos em tanques	Alterações significativas nas células do ouvido	O autor comenta que as lesões tem comportamento regressivo.
Wardle et al. (2001)	<i>G. morhua</i> , <i>P. pollachius</i> , <i>E. virens</i>	3 canhões de ar 190 a 229dB	Exposição dos peixes No ambiente natural	Reações de susto “C-Turn” Não ocorreu migração de um ponto de rochas a outro.	Nenhuma mortalidade ocorreu nem foi observado nenhum dano na saúde dos peixes.
Mac Cauley 2002	<i>P. auratus</i>	222.6 dB <100HZ	Exposição dos peixes presos em gaiolas	Alterações significativas nas células do ouvido	Não retornaram ao normal após 58 dias. Não menciona o número de canhões de ar.
Ostrensky et al. (2002)	<i>L. synagris</i> e <i>H. aurolineatus</i>	160dB <100HZ 4 canhões de ar	Exposição dos peixes presos em gaiolas	Não foram encontradas alterações nos órgãos estudados	Foram analisadas brânquias, gonadas, fígado e rim. 10, 20 e 200m
Skaar (2004)	<i>A. marinus</i>	256 dB 31 canhões de ar	Exposição dos peixes presos em gaiolas, durante 19 dias.	Apresentaram diferença significativa no número de batimentos da nadadeira caudal antes, durante e após o início dos disparos sísmicos.	Não apresentou diferença entre a captura antes e após a atividade sísmica.
Pooper et al. (2005)	<i>E. lucius</i> , <i>C. nasus</i> e <i>plumbeus</i>	230 dB <170 HZ 8 canhões de ar	Exposição dos peixes presos em gaiolas	Não foram encontradas alterações significativas nas células do ouvido	O autor sugere estudos em outras espécies de peixe.

Um experimento realizado por Ostrensky *et al* 2002, que utilizou a histologia como ferramenta de análise, demonstrou que nenhuma das alterações encontradas apresentou diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos e o grupo controle. O experimento avaliou alterações no fígado, brânquias, rim e gônadas, utilizando um arranjo de 4 canhões de ar com intensidade de 160 dB re 1 $\mu$ Pa *rms* e frequências menores que 100 Hz, os peixes ficaram expostos a uma distância de 5 metros das fontes injetoras de ar comprimido. Apesar das configurações sísmicas utilizadas nesse experimento serem diferentes das utilizadas no estudo realizado por Ostrensky *et al.* (*op cit*) os resultados corroboram com os obtidos nesta pesquisa, pois não foi encontrado nenhum indício que pudesse afirmar a relação absoluta de nexa causa, de que a atividade sísmica causa alterações patológicas nos órgãos estudados.

Apenas uma bibliografia foi encontrada, onde os autores tivessem usada a histologia de órgãos como fígado e brânquias como ferramenta de análise, o que dificultou a comparações dos resultados aqui obtidos. O conjunto de dados obtidos no experimento realizado, permite afirmar que os disparos de ar comprimido nas configurações aqui utilizadas, a uma distância de 5 metros da fonte geradora, não causa efeitos deletérios significativos sobre os órgãos analisados. Mais estudos devem ser realizados, pois são diversas as variáveis envolvidas neste modelo de pesquisa. Dessa forma, cada caso deve ser analisado de acordo com as condições sísmicas e ambientais apresentadas, para que não haja subjeções dos verdadeiros impactos sob esse importante recurso natural.

## REFERÊNCIAS

- BEHMER, O. A.; TOLOSA, E. M. C.; FREITAS Nt., A. G.(1976) **Manual de técnicas para Histologia Normal e Patológica**, São Paulo: São Paulo Livraria e Editora LTDA.
- BRASILEIRO F.G.(1994) **Patologia**. 5.ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, RJ. p. 1243.
- CHAMBERLAIN, J. (1976). **Mechanisms of Acoustic Trauma Temporary and Permanent Threshold Shifts**. Disponível em: <http://www.planetpuna.com> Acesso em: 09/08/2006.
- DALEN, J.; A. RAKNES. (1985). **Scaring Effects on Fish from Three Dimensional Seismic Surveys**. Inst. Mar. Res. Rep. FO 8504/8505, Bergen, Norway. Norwegian, Engl. summ. Resumo.
- DALEN, J.; ONA, E.; SOLDAL, A.V.; SAETRE, R. (1996). **Seismiske Undersokelser til havs: En Vurdering av Konsekvenser for Fisk og Fiskerier**. Fisken-Havet Bergen-Norway Havforsknings Instituttet N° 9. p. 26
- DAVIS, R. A.. (1998). **Environmental Assessment of Seismic Exploration on the Scotian Shelf**. Prepared for Mobil Oil Canada Properties Ltd., Shell Canada Ltd., and Imperial Oil Ltd. for submission to the Canada-Nova Scotia Offshore Petroleum Board. Disponível em: <http://www.cnsopb.ns.ca/Environment/shelf.pdf> > Acesso em: 24/09/2005.
- FERGUSON, H. W. (1989). **Systemic Pathology of Fish, a Text and Atlas of Comparative Tissue Responses in Diseases of Teleosts**, Iowa – USA: Iowa State University Press/Ames.
- FITZGERALD, G., (2005). **Is Canadá Turning a Deaf Ear to the Impacts of Seismic Testing on Marine Life**. Ecology Action Centre. p. 04-24.
- GAUSLAND, G. (2000). **Impact of Seismic Surveys on Marine Life**, v.01.p. 903-905.
- GAUSLAND, I., (2003). **Seismic Surveys Impact on Fish and Fisheries**, Norwegian Oil Industry Association (OLF). p.2-42.
- GENIN, A.; HAURY, L.; GREENBLATT, P. (1988). **Interactions of Migrating Zooplankton with Shallow Topography: Predation by rockfishes and intensification of patchiness**. Resumo.
- GREENPEACE, (2000), **Seismic Exploration** disponível em:<<http://www.gpuk.org/atlantic/library/oil/siesmic.html>> Acesso em: 01/12/2004.
- HIBIYA, T. (1982). **An Atlas of Fish Histology, Normal and Pathological Features**, New York-USA: Gustav Fischer Verlag.
- HOROBIN, R. W.; BANCROFT, J. D. (1998). **Troubleshooting Histology Stains**. Pearson Professional Limited. Hong Kong.
- MALLAT, J. (1985). **Fish Gill Structural Changes Induced by Toxicants and Other Irritants: a statistical review**. *Can. J. Aquatic. Sci.*, 42. p.189-206.
- MCCAULEY, R.D.; FEWTRELL J.; POPPER, A. N. (2002). **High Intensity Anthropogenic Sound Damages Fish Ears**. J. Acoust. Soc. Am. 113 (1), January 2003. p. 640-642.
- Orphan Basin Strategic Environmental Assessment**. (2003). Prepared for the Canada-Newfoundland Offshore Petroleum Board. Disponível em: [http://www.cnopb.nfnet.com/newsr/2003nr/landsale/ob\\_ea.pdf](http://www.cnopb.nfnet.com/newsr/2003nr/landsale/ob_ea.pdf)> Acesso em: 23/09/2005.
- OSTRENSKY, A.; ANDRIGUETTO, J.M.; BOEGER, W.; CARDOSO, M.F.; TEIXEIRA, U.A.; BELZ, C.E. WEGBECHER, F.X. (2002). **Avaliação dos Impactos Causados Durante a Aquisição de Dados Sísmicos sobre Organismos Marinhos de Interesse Comercial**. Relatório Final. Grupo Integrado de Aquicultura e Estudos Ambientais. Curitiba, PR. p. 111.
- PETER, C; WALLACE, W. (2000). **Oil Rigs or Fishing Boats: What are the Potential Effects of Oil and Gas Development on Southern Gulf Fisheries**. SRSF. Fact Sheet 9. Resumo.
- RIBERLIN, W. E.; MIGAKI, G. (1975). **The Pathology of Fishes**, USA: The Universitu of Wisconsin Press.

- SAILA, S.B.; KOCIC, V.L.; MCMANUS, J.W. (1993). **Modelling the Effects of Destructive Fishing Practices on Tropical Coral Reefs**. Mar. Ecol. Prog. Ser. 94 (1). p. 51-60.
- SANTULLI, A.; MODICA, A.; MESSINA, C.; CEFFA, L.; CURATOLO, A.; RIVAS, G.; FABI, G.; D'AMELIO, V.. (1999). **Biochemical Responses of European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax* L.) to the Stress Induced by Off Shore Experimental Seismic Prospecting**. Mar. Poll. Bull. 38. p.1105-1114.
- STANTON, T.K.; CHU, D.; WIEBE, P.H. (1996). **Acoustic Scattering Characteristics of Several Zooplankton Groups. Fisheries and Plankton Acoustics**. Proceedings of an ICES International Symposium held in Aberdeen, Scotland, 12-16 June Simmonds, E.J.; Maclellan, D.N. eds. London UK Academic Press. 53(2). p.289-295.
- STOSKOPF, M. K. (1993). **Clinical Examination and Procedures**. In **Fish Medicine**. . (ed). W.B. Saunders Company. p. 63
- SVERDRUP, A.; KJELLBY, E.; KRUGER, P. G.; FLOYSDAND, R.; KNUDSEN, F. R.; ENGER, P. S.; SERK-HANSEN, G.; HELLE, K. B. (1994). **Effects of Experimental Seismic Shock on Vasoactivity of Arteries, Integrity of the Vascular Endothelium and on Primary Stress Hormones of the Atlantic Salmon**. J. Fish Biol. 45(6). Disponível em: <http://blackwell-synergy.com>> Acesso em: 09/08/2006.
- WARDLE, C.S.; CARTER, T. J.; URQUHART, G. G.; JOHNSTONE, A. D. F.; ZIOLKOWSKI, A. M.; HAMPSON, G.; MACKIE, D. (2001). **Effects of Seismic Air Guns on Marine Fish**. Continental Shelf Research, 21. p. 1005 – 1027.
- YELVERTON, J.T.; RICHMOND, D. R. (1981). **Underwater Explosion Damage Risk Criteria for Fish, Birds, and Mammals**, presented at the 102nd Meeting of the Acoustical Society of America. Disponível em: <http://scitation.aip.org/getabs/servlet.com>> Acesso em: 09/08/2006.



## **5. AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE PEIXES RECIFAIS EXPOSTOS AOS DISPAROS SÍSMICOS**

### **Resumo**

A atividade sísmica exploratória é a técnica mais importante para descoberta de depósitos de combustíveis fósseis. Porém, pouco se sabe sobre os efeitos negativos que essa atividade pode causar aos peixes quando é realizada no oceano. O objetivo do presente trabalho foi o de registrar e quantificar através da quantidade de batimentos da nadadeira caudal, eventuais alterações comportamentais dos peixes expostos aos disparos de ar comprimido utilizados na atividade sísmica exploratória. A atividade sísmica monitorada neste trabalho, utiliza um modelo de prospecção em 3 dimensões, que gera ondas sonoras com frequências baixas, intensidades de 196 dB, com um arranjo de 8 air-guns, e com cabos de fundo. No experimento para avaliação do comportamento dos peixes diante dos disparos sísmicos, câmeras subaquáticas foram fixadas em gaiolas, onde foram colocadas espécies de peixes com características de ambientes recifais. As câmeras registraram as reações dos peixes no momento dos disparos. As reações dos peixes foram caracterizadas principalmente pela aceleração inicial do movimento natatório, mas pela redução dos movimentos de fuga, à medida que os animais se acostumam com os ruídos sonoros gerados pelos canhões de ar. Analisando-se todo conjunto de dados obtidos, durante a pesquisa, pode se concluir que a atividade sísmica marinha, não causa mudança significativa no comportamento dos peixes estudados.

## 5.1. Introdução

Estudos realizados por Gausland (2003), sobre o impacto de disparos sísmicos sobre peixes, demonstram que os danos físicos são negligenciáveis, mas que os disparos causam mudança de comportamento dos peixes expostos a eles. Porém, além das alterações comportamentais, Richardson *et al.* (1995) concluíram que o som gerado pelos canhões de ar pode produzir um ou mais dos seguintes efeitos: tolerância, mascarar sons naturais, distúrbio comportamental e lesões temporárias ou permanentes na audição dos peixes. Entretanto, Saila *et al.* (1993) concluíram que explosões subaquáticas exercem enorme pressão que podem ferir e até matar peixes, esses autores relataram que os peixes afetados podem se dispersar voluntariamente, ser levado pelas correntes marinhas, ou ir para o fundo. Já Mc Cauley (2002) afirma que a atividade sísmica 3D realizada numa determinada área por um longo período de tempo pode afastar os peixes, causando uma diminuição nos estoques naturais. Embora a utilização de canhões de ar seja a evolução da técnica de prospecção sísmica para condições com maior segurança ambiental, seu efeito sobre o meio ambiente ainda não é muito conhecido. De acordo com Greene (1985), esta prática apresenta muito mais segurança ambiental do que o uso de explosivos químicos que eram utilizados no passado.

Um estudo desenvolvido por Wardle *et al.* (2001), indicou que a natação de peixes residentes continuou aparentemente normal quando expostos aos canhões de ar com potência de 206 a 218 dB, pico a pico de 6 em 6 segundos e uma distância de 16 metros dos recifes. Esses peixes apenas demonstraram comportamento de fuga para se protegerem atrás dos recifes, mas voltaram as suas atividades normais após a passagem da fonte geradora. Concordando com Wardle *et al.* (2001), McCauley *et al.* (2000 a), observaram que os peixes mantidos em gaiolas a uma distância de 2 km de fontes geradoras de ondas sísmicas, com a aproximação de canhões de ar, iniciaram uma mudança súbita de comportamento quando submetidos a níveis sonoros a partir de 156-161 dB re 1  $\mu\text{Pa}$  *rms*, acelerando seus movimentos natatórios em direção ao fundo, mas não demonstraram nenhuma evidência no aumento do stress. Tal resposta, entretanto, tende a se atenuar com o tempo, indicando que estes tendem a se habituar com os níveis sonoros. Durante a emissão de níveis sonoros mais altos – 182-195 dB re 1  $\mu\text{Pa}$  *rms* - os peixes tendem a nadar mais rápido e se juntar em grupos.

Outros trabalhos recentes a respeito das reações comportamentais dos peixes aos disparos sísmicos e o de avaliar os efeitos desta prática no sucesso da pesca, foram revistos por Turnpenny e Nedwell (1994), Santulli *et al.* (1999), Hirst e Rodhouse (2000), Thomson *et al.* (2001), Wardle *et al.* (2001) e por Engås e Løkkeborg (2002). Em outras experiências, a captura por unidade de esforço (CPUE) de peixes declinou quando os pulsos dos canhões de ar foram emitidos (Dalen e Raknes (1985); Dalen e Knutsen (1986); Skalski *et al.*, (1992). Slotte *et al.* (1999), *appud* Gausland (2003), chegaram à conclusão que a prospecção sísmica diminuiu a captura de bacalhau na costa da Noruega, mas enfatiza que devido ao grande número de variáveis que influenciaram na pesquisa, não

pode se afirmar que a atividade seja altamente impactante, sugerindo a realização de novas pesquisas. A abundância de bacalhau e de arenques no mar de Barents foi reduzida em 44% dentro de um raio de 9,2 quilômetros em uma área onde os canhões de ar operavam (Engås *et al.* 1996). Concordando com Mc Cauley (2000a), Chapman e Hawkins (1969); Pearson *et al.* (1992); Skalski *et al.*, (1992) afirmam que as reduções na produtividade pesqueira podem ter sido resultado de uma mudança no comportamento dos peixes. Os cardumes de peixe desceram próximo ao fundo quando os canhões de ar foram disparados. Os peixes podem ter mudado a direção da sua natação e seu comportamento para se proteger.

O presente capítulo objetivou registrar e quantificar através da quantidade de batimentos da nadadeira caudal, eventuais alterações comportamentais dos peixes expostos aos disparos de ar comprimido utilizados na atividade sísmica exploratória.

## **5.2. Material e Métodos**

Os peixes foram acondicionados em gaiolas confeccionadas de tubos de pvc de meia polegada, coberta com tela plástica, com dimensão de um metro cúbico, equipada com duas câmeras submarinas, instaladas em posições distintas. O comportamento e a sobrevivência imediata de peixes expostos diretamente aos disparos dos canhões de ar foram avaliados através de filmagem, em três configurações distintas.

Os peixes foram capturados através de rede de calão; mantidos em um tanque-rede, onde eram alimentados com pedaços de camarões e de peixes; transferidos até a área experimental em caixa plástica sob aeração contínua; mantidos na gaiola experimental por 24 h, antes da realização do teste.

Em todas as configurações abaixo descritas, os peixes foram filmados cerca de 5 minutos antes dos disparos dos canhões de ar, durante os disparos e cerca de 5 minutos após os mesmos. Cada fotografia apresentada no texto, foi utilizada para demonstração visual dos efeitos nos peixes, sendo retirada das filmagens com um intervalo aproximado de 9 décimos de segundo.

As filmagens foram realizadas com duas câmeras subaquáticas AquaVue conectadas a uma câmera filmadora digital Sony Camcorder Super 8 através de um cabo de 40 metros de comprimento. As imagens obtidas foram analisadas em laboratório com o auxílio de um microcomputador e o programa ImageMaker.

Cada um dos 8 canhões de ar utilizados no presente trabalho possui capacidade total de 635 polegadas cúbicas, e é alimentado por compressores de 2.000 psi., produz pulsos (ondas sísmicas) de baixa frequência (<100 Hz) e intensidade em torno de 196 dB ref 1  $\mu$ Pa-m, a uma profundidade média de 5,0 metros abaixo da linha d'água, a cada 9-11 segundos.

### 5.2.1. Primeira configuração

A gaiola experimental, contendo cinco *Lutjanus synagris* (ariocó), e três *Chaetodipteros faber* (parus), foi mantida a cerca de cinco metros de profundidade, a meia água, conectada por uma amarra a um barco de apoio (TZ - barco responsável pelo espalhamento dos cabos). Os peixes apresentavam tamanhos variados, entre 15 e 35 cm. A filmagem dos peixes nestas condições foi realizada durante duas passagens do barco-fonte, disparando os oito canhões de ar, simulando os procedimentos de operação de prospecção na área (disparos a intervalos regulares de 11 segundos). A passagem do barco fonte deu-se a cerca de sete metros de distância horizontal da gaiola. Foram realizados 4 disparos de ar comprimido, enquanto o navio sísmico se deslocava ao lado da gaiola. Os canhões de ar localizavam-se a cinco metros de profundidade. O experimento foi realizado na área de prospecção sísmica localizada à leste de Garupá (coordenadas: 13° 33' 43,5" S – 38° 48' 59,9" W). A profundidade nesta área é de aproximadamente 50-60 metros.

### 5.2.2. Segunda configuração

A gaiola experimental foi posicionada a cerca de 7,5 metros de profundidade (Figura 24), sobre substrato mais consolidado, formado por recifes calcários, ocorrendo abundância de pequenas colônias de corais pétreos do gênero *Mussimilia*, em uma região denominada de Pontinhas, localizada a cerca de 1.000m do sítio experimental de Pinaúna. Nesta gaiola foram acondicionados um *Lutjanus apodus* (carapitinga) e quatro *Lutjanus synagris* (ariocó). Estes peixes variavam entre 15-20 cm de comprimento. Dentre estes, um dos ariocós encontrava-se em estado de baixa higidez, com dificuldade constatada de natação. Apesar disto, este peixe não foi removido do experimento, pois ele permitiria uma avaliação ainda mais rígida dos efeitos dos canhões de ar na configuração utilizada. A comparação do comportamento e sobrevivência dos demais peixes com este animal foi considerada uma oportunidade de avaliar os efeitos dos disparos de uma forma mais ampla. Animais com baixa higidez são mais suscetíveis a impactos externos do que aqueles saudáveis.

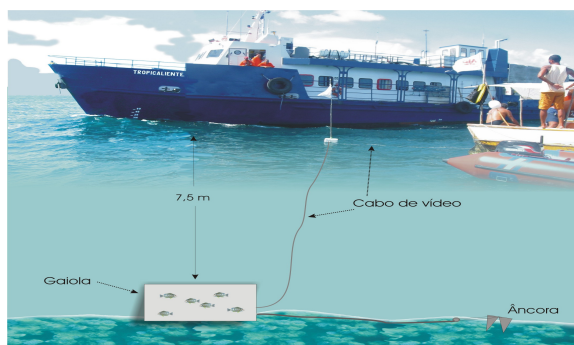


Figura 24. Desenho experimental para avaliação do comportamento e sobrevivência de peixes expostos diretamente abaixo dos disparos com os canhões de ar através de filmagem.

A reação comportamental dos peixes foi filmado antes e depois da passagem do barco fonte, com os oito canhões de ar, posicionados a 5 metros de profundidade (portanto, a cerca de 2,5 metros das gaiolas). Foram realizadas duas passagens do barco fonte imediatamente sobre a gaiola, realizando 4 disparos com os 8 canhões de ar em intervalos de aproximadamente 11 segundos, em cada passagem do navio sísmico ao lado da gaiola. Um balão de ar foi mantido no campo de filmagem de uma das câmeras para avaliar a intensidade da onda de choque à qual os peixes foram submetidos. Este experimento foi realizado no dia a 14/2/2004. Durante estes experimentos, a gaiola foi aberta para permitir a observação do comportamento destes peixes após os disparos.

### 5.2.3. Terceira configuração

A gaiola experimental foi mantida, durante todo o experimento, ao lado dos canhões de ar, a cerca de cinco metros de profundidade, suspensa a meia água. Seis *Chaetodipteros faber* (parus) e 6 *Lutjanus synagris* (ariocó), foram submetidos aos disparos consecutivos (cerca de 18 disparos) de dois canhões de ar (Figura 25). Os peixes apresentavam tamanho variável (10-25 cm de comprimento). O experimento se realizou na área de prospecção sísmica no dia 20/3/2004. A profundidade média da área no local é de 60 metros. Foram realizados sete minutos de filmagem, antes de iniciar os disparos de ar comprimido e três durante. A filmagem foi dividida em quadros de 15 segundos e a reação de cada peixe foi analisada individualmente, de acordo com a quantidade de batimentos da nadadeira caudal, antes, e durante os disparos de ar comprimido.

A duração do tempo de reação dos peixes (susto ou escape) no momento do disparo de ar comprimido, foi quantificado através do tempo que o peixe acelerava os movimentos de batida de nadadeira caudal. E durante esse período de resposta dos peixes aos disparos de ar comprimido, foi quantificado o número de batimentos da nadadeira caudal de cada peixe e contado a quantidade de movimentos de virada brusca para outra direção (C-Turn). Todos os tempos foram medidos com cronômetro do celular Nokia BID-3.

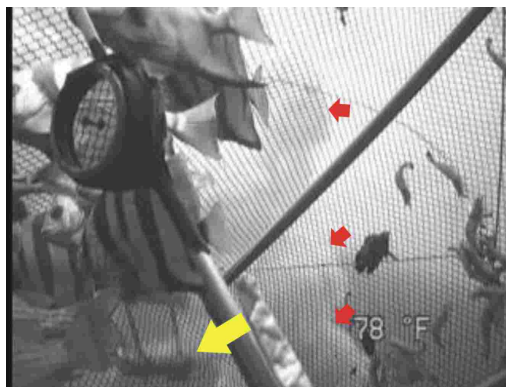


Figura 25. Gaiola utilizada na terceira configuração indicando a presença dos canhões de ar (seta amarela) e da "nuvem" de bolhas formada durante os disparos (seta vermelha).

#### **5.2.4. Análises Estatísticas**

Cada resultado obtido foi tratado através do pacote estatístico Statistica<sup>®</sup> versão 6.0 (StatSoft Inc).

Os resultados obtidos foram submetidos a um teste de homogeneidade, através do teste de Shapiro-Wilk, com nível de 5% de probabilidade. Quando confirmado que não se ajustavam à curva normal de Gauss, foram realizados testes comparativos entre medianas, através de metodologia não-paramétrica, utilizando-se testes de Kruskal-Wallis (para comparação entre várias variáveis independentes), Mann-Whitney e Kolmogorov-Smirnov (para comparação entre duas variáveis independentes), ao nível de 95% de confiabilidade.

### **5.3. Resultados e Discussão**

A avaliação das imagens captadas dos balões de ar mantidos juntos aos peixes durante os experimentos, parece sugerir a extensão e a característica do impacto ao qual a bexiga natatória de peixes ósseos, bem como outros órgãos preenchidos por gases, são submetidos durante a passagem da onda de choque produzida pelos oito canhões de ar, na configuração utilizada durante este experimento. O balão sofre significativa deformação de seu volume e forma durante a passagem da onda de choque, retomando sua conformação original logo após. A deformação que deve ocorrer na bexiga natatória dos peixes é, provavelmente, mais limitada devido à presença de outros órgãos e da musculatura (Figura 26 A, B, C, D, E, F, G, H).

A análise das imagens obtidas em todos os experimentos descritos acima mostra que, mesmo em condições artificiais, sob condições de pior cenário, impostas pelas configurações utilizadas nestes experimentos não foi detectado nenhum caso de mortandade entre as diversas espécies de peixes, de diferentes tamanhos, com distâncias entre os canhões de ar e as gaiolas de 5 a 2,5 metros. Entretanto, os resultados obtidos discordam dos autores Stoskopf (1993), Peter & Wallace (2000), pois, após os disparos, em todos os experimentos, todos os organismos confinados nas gaiolas encontravam-se sem nenhuma evidência visual de dano interno ou externo. Nem mesmo o peixe de baixa higidez, utilizado no experimento da segunda configuração, apresentou qualquer evidência de agravamento de condição de higidez após o experimento (Figura 27 A, B, C, D). A abertura da gaiola experimental, na segunda configuração, resultou no escape dos peixes submetidos aos disparos dos canhões de ar, que nadaram rapidamente para longe. Essa mudança de comportamento no modelo de natação dos peixes está limitada a apenas uma reação de susto, causada no momento do ruído produzido pelo disparo de ar comprimido, não causando nenhuma evidência de danos significativos na natação dos peixes após a exposição aos disparos sísmicos.

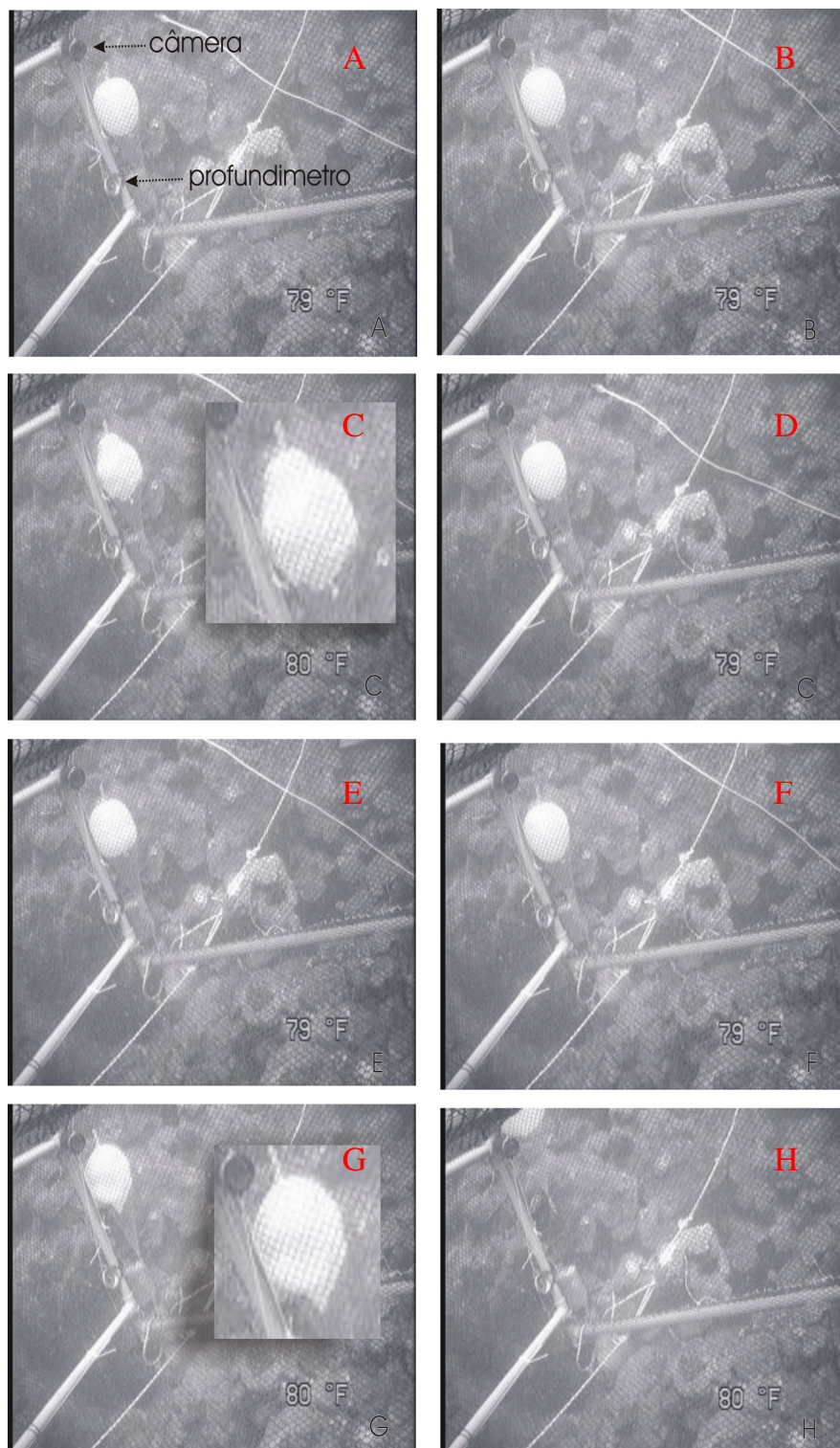
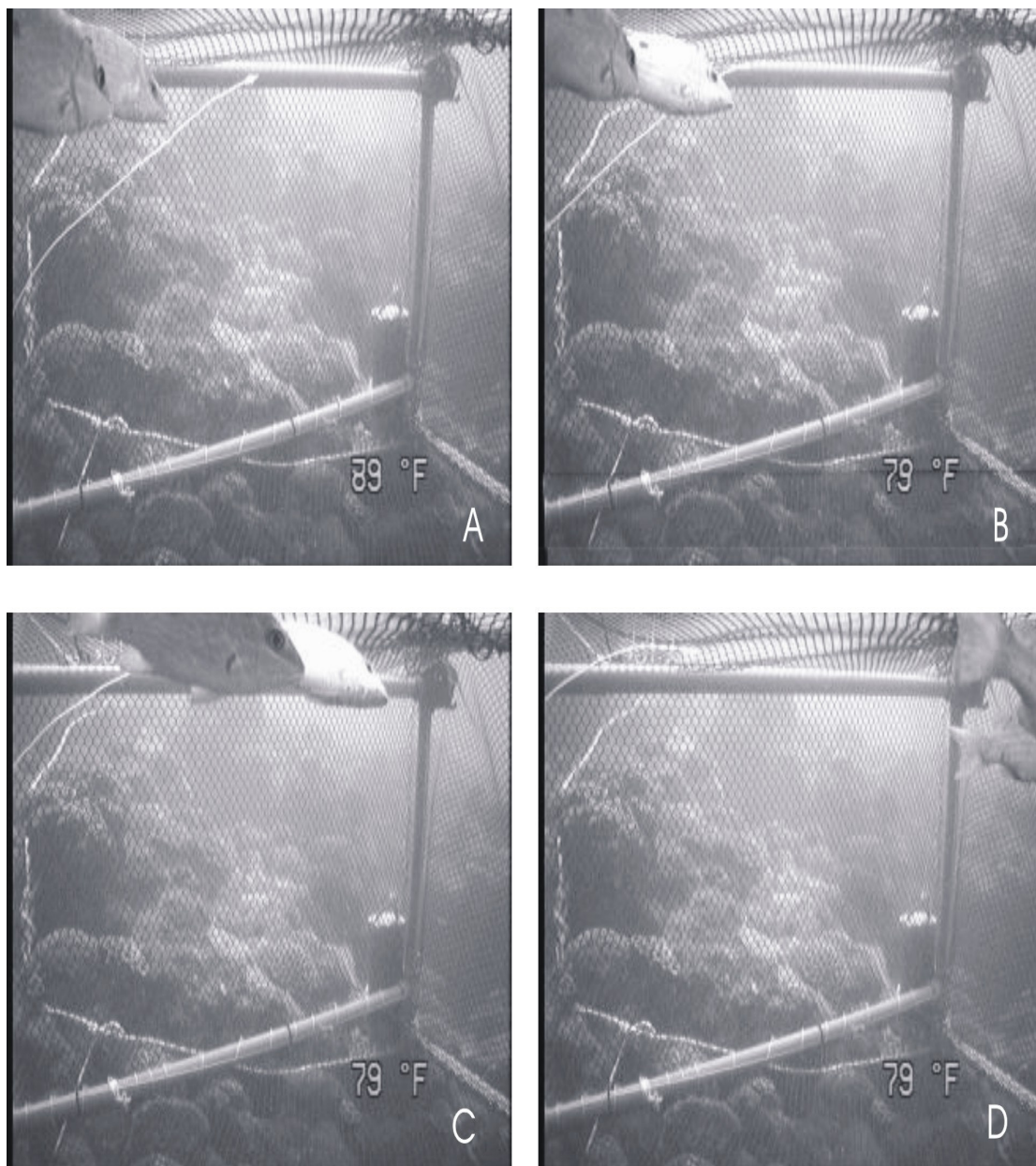


Figura 26. Fotografias consecutivas do balão de ar submetidos aos disparos dos canhões de ar e conseqüentes ondas de pressão na segunda configuração utilizada nas filmagens. Fotos C e G apresentam os balões de ar deformados pelas passagens da onda de pressão (imagens ampliadas do balão de ar são apresentadas).





*Figura 27. Resposta do peixe com baixa higidez exposto a um disparo dos canhões de ar durante as filmagens realizadas com a segunda configuração. Ao ser exposto ao disparo sincronizado dos canhões de ar o peixe assusta-se e responde com uma natação rápida para a frente, igual aos demais considerados com a saúde normal.*

De acordo com Chapman e Hawkins (1969); Skalski *et al.* (1992); Richardson *et al.* (1995); Popper (2003), disparos de ar comprimido causam mudanças visíveis no comportamento dos peixes. Esses autores afirmam que é provável que os peixes mergulhem para o fundo ou demonstrem algum outro tipo de resposta comportamental aos disparos.



Wardle *et al.* (2001) e Pearson *et al.* (1992) observaram uma reação de susto ou escape definida pela mudança brusca de direção, chamada de “C-turn”. Segundo Blaxter *et al.* 1981, essa reação é uma resposta involuntária da musculatura lateral do peixe, realizada com a intenção de fuga para outra direção.

Os resultados obtidos nesse experimento concordam com os autores citados. Durante todas as configurações realizadas os peixes apresentaram esse mesmo tipo de reação (Tabela 9). A partir do terceiro disparo não foi observada nenhuma reação de susto dos peixes analisados, em nenhuma das configurações utilizadas. A reação de susto e tentativa de escape demonstrou-se evidente com a intensidade utilizada nesse estudo (196 dB), muito parecida com a utilizada nos experimentos realizados por Wardle *et al.* (2001) 195-219 dB e por Pearson *et al.* (1992) 182-195 dB. Porém, a distância entre as fontes geradoras de ondas compressoriais e os peixes, utilizados nesse estudo, foram consideravelmente menores - cerca de 2,5 metros. No experimento desenvolvido por Wardle *et al.* (2001) foram observadas as mesmas mudanças de comportamento a uma distância de 1-2 km da fonte geradora de disparos de ar comprimido.

Concordando com Wardle *et al.* (2001) e Mc Cauley *et al.* (2002) no momento dos disparos, os peixes demonstraram apenas reações de susto ou de escape, retomando seu comportamento “normal” (i.e. semelhante ao comportamento registrado antes dos disparos) entre os disparos, (Figura 28 A, B, C, D, E, F).

Tabela 9. Reação de susto ou escape, por espécie de peixe, durante todas as configurações realizadas, de acordo com cada disparo de ar comprimido.

Configurações	Número de Reações de Susto (C-Turn)		
	1º disparo de ar comprimido	2º disparo de ar comprimido	3º disparo de ar comprimido
1º	2 <i>L. synagris</i> e 3 <i>C. faber</i>	1 <i>L. synagris</i> e 2 <i>C. faber</i>	1 <i>C. faber</i>
2º	1 <i>L. apodus</i> e 3 <i>L. synagris</i>	1 <i>L. synagris</i>	
3º	3 <i>L. synagris</i> e 2 <i>C. faber</i>	2 <i>L. synagris</i> e 2 <i>C. faber</i>	1 <i>C. faber</i>

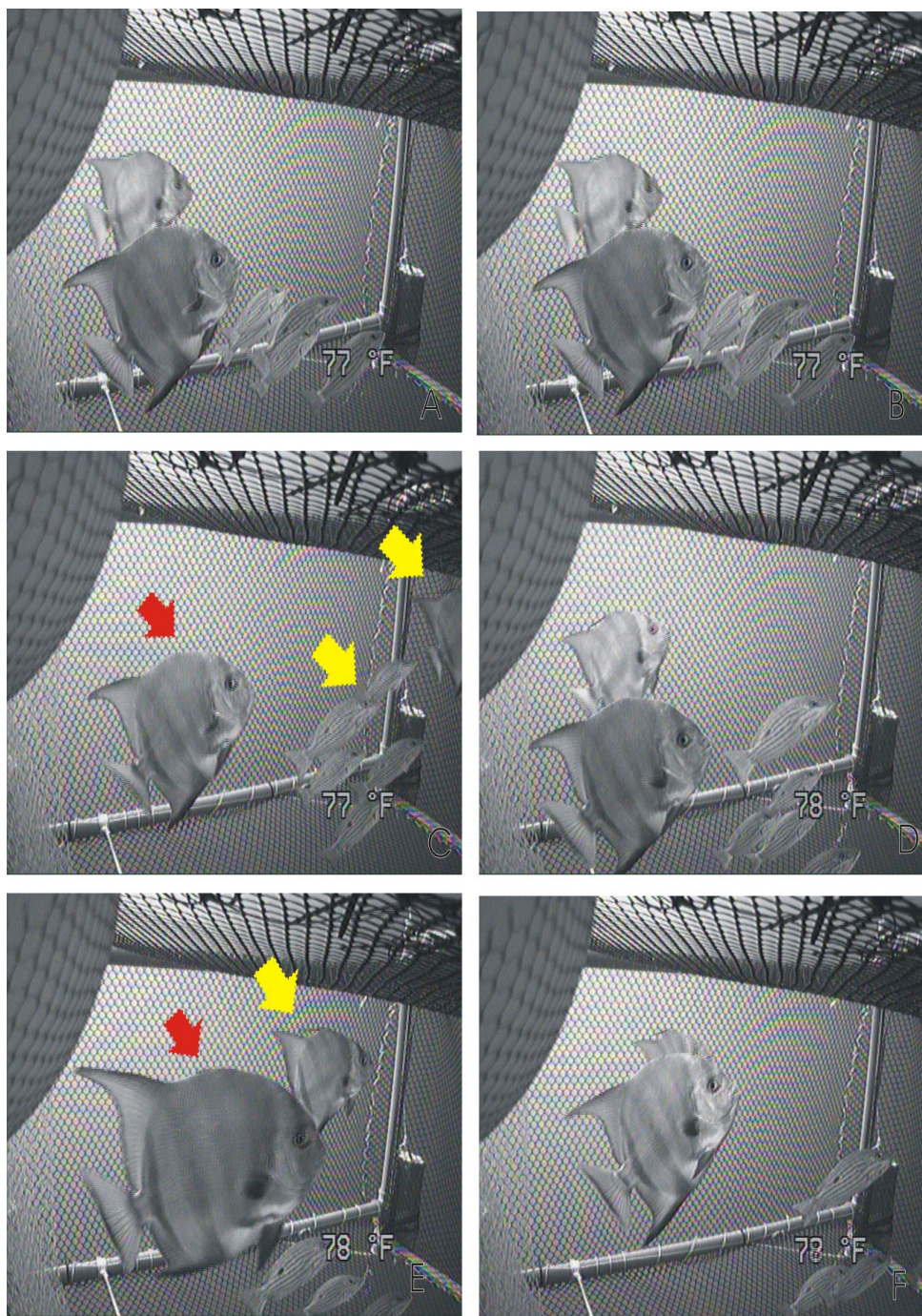


Figura 28. Fotografias consecutivas tomadas durante os disparos dos canhões de ar nas filmagens da primeira configuração. Os peixes apresentam uma reação de susto como resposta ao disparo; alguns se desviam lateralmente (seta vermelha) ou nadam rapidamente para frente (setas amarelas). Após e entre disparos, os peixes apresentam frequência de natação semelhante àquela observada nos peixes antes da exposição à onda de choque.

Durante a realização dos experimentos sob a segunda configuração, foi possível observar a reação de peixes que se encontravam nos arredores, mas fora da gaiola utilizada para a filmagem. Alguns peixes foram observados na área durante as filmagens preliminares, antes da passagem do

barco fonte. Estes peixes, todavia, não foram mais observados durante a aproximação do Tropicaliente, já com os canhões de ar sendo disparados. As mesmas reações foram observadas num estudo desenvolvido por Wardle *et al.* (2001), esses autores afirmam que os peixes se escondiam nas fendas das pedras quando o barco fonte se aproximava, e retornavam ao seu local de residência após a passagem da fonte geradora de ondas. Como não tinham sua movimentação limitada pela gaiola, estes peixes provavelmente se afastaram ou se esconderam em tocas, que são bastante abundantes nesta área (Pontinhas). Este comportamento certamente reduz os eventuais impactos das ondas de choque produzidas pelos canhões de ar.

Dalen *et al.* (1996), Skalski *et al.* (1992) e Pearson *et al.* (1992), Engås *et al.* (1996), Dalen e Knutsen (1986) afirmam que a captura de peixes diminui quando os pulsos dos canhões de ar são emitidos. As reduções na pesca podem ser resultado de um comportamento de fuga de algumas espécies de peixes, para se protegerem dos ruídos causados pelos disparos de ar comprimido.

Para determinação dos quadros na terceira configuração, foi possível utilizar do tempo total de filmagem um minuto e quinze segundos antes dos disparos sísmicos e um minuto e 30 segundos durante os disparos, pois no restante os peixes analisados não permaneceram integralmente no raio de ação da câmera. Totalizaram-se cinco quadros de quinze segundos antes, e seis durante os disparos de ar comprimido. Nos seis quadros de vídeo utilizados para as análises durante os disparos de ar comprimido foram observadas as seguintes configurações em relação aos disparos sísmicos; primeiro quadro de quinze segundos: foram realizados dois disparos sísmicos aos quatro e quinze segundos, no segundo quadro: um disparo aos vinte e seis segundos, no terceiro quadro: um disparo aos trinta e sete segundos, no quarto quadro: foram realizados dois disparos aos quarenta e oito e cinqüenta e nove segundos, no quinto quadro: um disparo a um minuto e dez segundos e no sexto quadro: um disparo a um minuto e vinte e um segundos.

Nos resultados obtidos nesse estudo, não foram encontradas diferenças significativas na quantidade de batimentos da nadadeira caudal dos peixes analisados antes e durante a exposição aos disparos de ar comprimido (Figura 29), nem quando foram analisadas as duas espécies de peixe separadamente (Figura 30). Quando foram comparados os seis quadros de quinze segundos durante os disparos de ar comprimido, também não foram encontradas diferenças significativas entre elas. Porém, observa-se uma tendência de queda na quantidade de batimentos da nadadeira caudal com o passar do tempo (Figura 31). No entanto, Skaar (2004), afirma que, os disparos de ar comprimido aumentam significativamente o número de batimentos da nadadeira caudal do peixe *Ammodytes marinus*, durante e após a exposição aos disparos de ar comprimido, afirmando que o padrão de natação não retornou ao normal (exibido antes dos disparos de ar comprimido) após 4 dias. No estudo desenvolvido por Skaar (2004), não foi considerada a velocidade da corrente marítima, o período amostral foi de vários dias e pode ter ocorrido uma mudança significativa na velocidade da corrente marítima, o que pode ter afetado significativamente os resultados encontrados. Segundo Harrison (2005) mudanças no clima e nas fases da lua afetam a velocidade das correntes marítimas.

O período dos 6 quadros de 15 segundos cada, os peixes foram expostos a 8 disparos sísmicos. A comparação das medianas do tempo da reação dos peixes aos disparos de ar comprimido apresentou diferença estatística significativa. A mediana do tempo de reação dos peixes no primeiro disparo de ar comprimido, quando foi comparada com a segunda mediana do tempo de reação dos peixes aos disparos de ar comprimido, não apresentou diferença significativa. Porém, todas as outras medianas (terceira, quarta, quinta e sexta) do tempo de reação dos peixes aos disparos sísmicos foram estatisticamente diferentes do que as medianas do primeiro e do segundo disparo sísmico, mas não apresentaram diferença entre si. ( $p > 0,05$ ). A partir do quarto disparo sísmico o tempo de reação dos peixes aos disparos de ar comprimido foi zero. O valor da mediana encontrado para o tempo de duração da aceleração de batimentos da nadadeira caudal para a primeira e segunda mediana foi de 1,11 milésimos de segundo. Sendo que, durante esse curto período de tempo os peixes batiam aproximadamente 7 vezes a nadadeira caudal durante o primeiro disparo, 4,2 durante o segundo e 3,56 durante o terceiro disparo. A partir do quarto disparo de ar comprimido a mediana dos batimentos da nadadeira caudal foi de apenas 1,4 por peixe, sendo que, em peixes sem a ação de disparos sísmicos a mediana foi de 1,6 (Figura 32 A, B, C, D, E, F). Concordando com as afirmações de Gausland (2000), a reação de susto/escape é representada por um aumento na velocidade de natação. O peixe pode nadar rapidamente para frente ou desviar-se lateralmente. A natação normal é retomada logo após a passagem da onda de choque. A exposição continuada aos disparos parece promover a redução da sensibilidade aos disparos, pois a reação de susto/escape é gradativamente menos conspícua à medida que os disparos vão sendo repetidos.

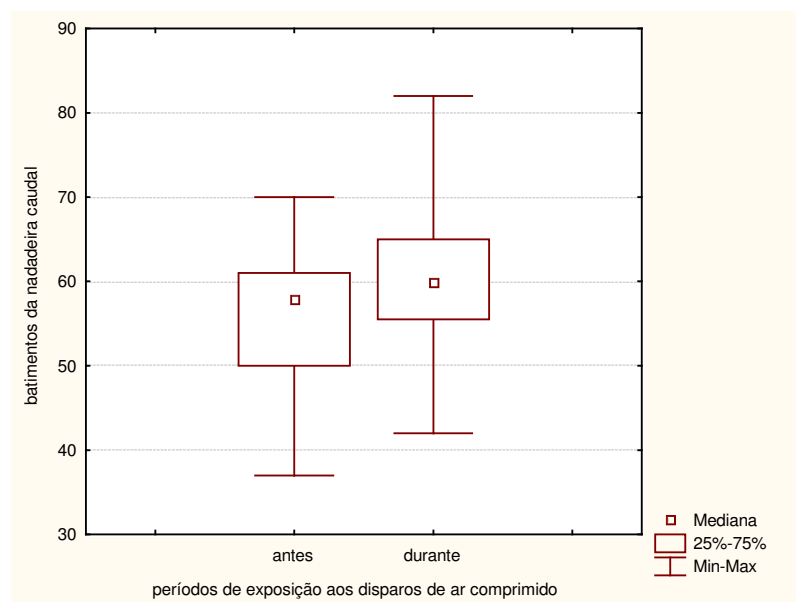


Figura 29. Comparação das medianas do número de batimentos da nadadeira caudal dos peixes um minuto e quinze segundos antes dos disparos sísmicos e um minuto e 30 segundos durante os disparos de ar comprimido.

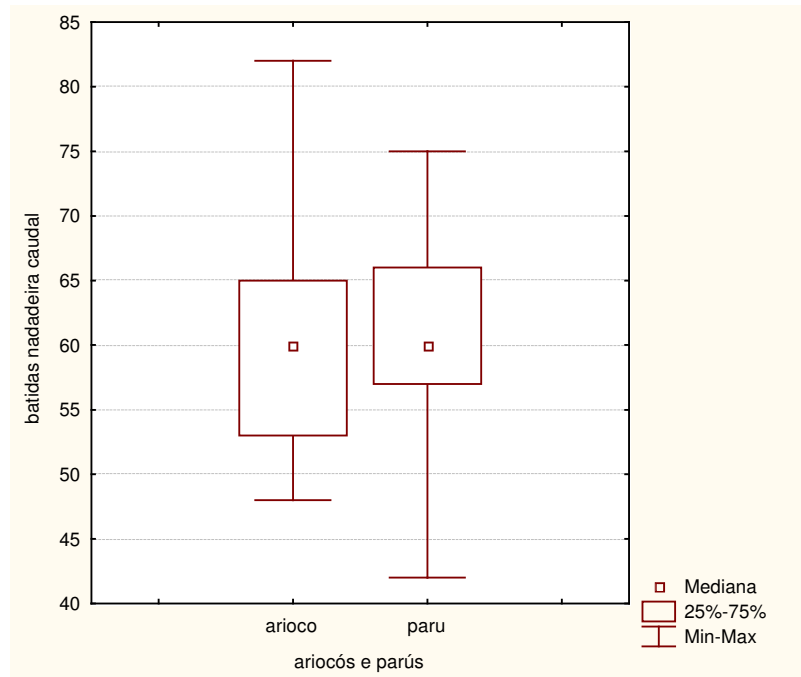


Figura 30. Comparação da mediana dos batimentos da nadadeira caudal comparadas por espécie de peixe.

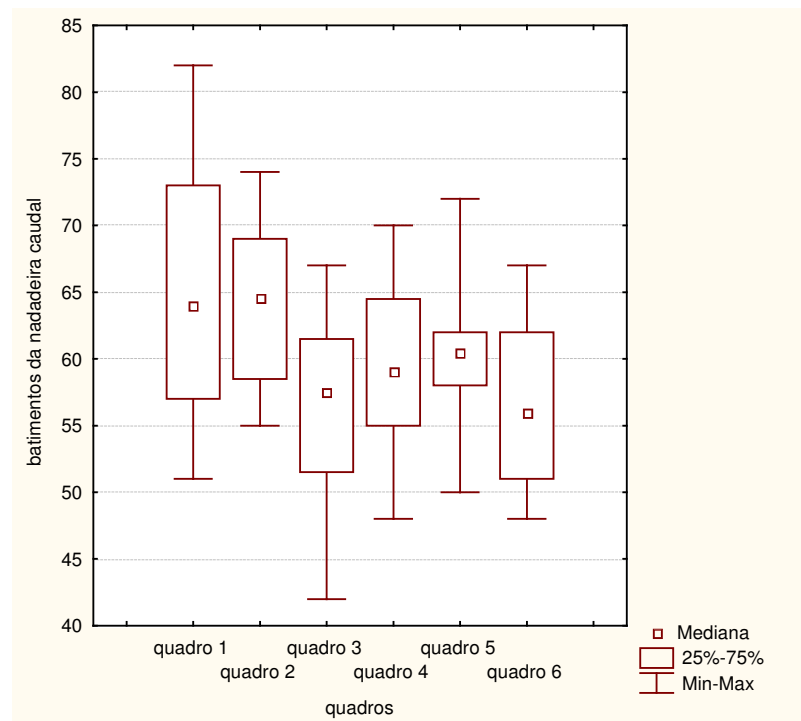


Figura 31. Comparação das medianas de todos quadros de 15 segundos cada, durante a exposição dos peixes aos disparos de ar comprimido.



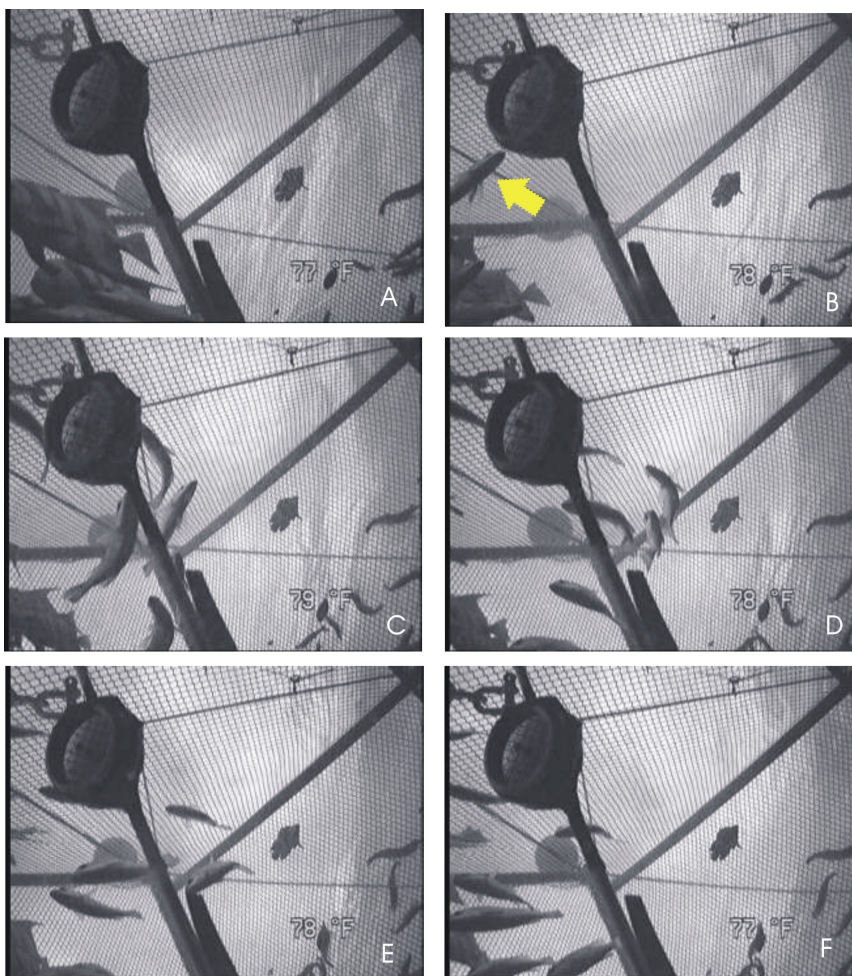


Figura 32. Resposta dos peixes expostos a um disparo dos air guns durante as filmagens realizadas com a terceira configuração. Cada fotografia foi tirada em um intervalo aproximado de 9 décimos de segundo. Como nos demais experimentos, ao serem expostos aos disparos dos canhões de ar os peixes assustam-se e respondem com uma natação rápida para a frente ou para os lados (seta amarela), retomando a natação normal imediatamente após o disparo.

Levando em consideração o conjunto de dados obtidos nas três configurações experimentais realizadas nesse estudo, pode-se concluir que os peixes apresentam mudanças significativas no comportamento frente aos disparos de ar comprimido. Porém, além de não causar danos físicos, os peixes têm a capacidade de se adaptar ao ruído provocado pelo disparo de ar, retornando aos padrões normais exibidos anteriormente à passagem do barco sísmico. Não apresentando alterações significativas na natação, após a exposição aos disparos de ar comprimido.

## REFERÊNCIAS

- BLAXTER, J. H.S.; GRAY, J.A.B. E DENTON, E. J. (1985). **Sound and Startle Response in Herring Shoals**. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. 61. p. 851-69
- CHAPMAN, C.J.; HAWKINS, A.D. (1969). **The Importance of Sound in Fish Behaviour in Relation to Capture by Trawls**. In: A. Ben-Tuvia and W. Dickson (eds.), Proc. FAO conference on fish behaviour in relation to fishing techniques and tactics, 19-27 Oct. 1967. FAO Fisheries Report No. 62, Vol 3, Rome. p. 717-729
- DALEN, J.; G.M. KNUTSEN. (1986). **Scaring Effects in Fish and Harmful Effects on Eggs, Larvae and Fry by Offshore Seismic Explorations**. In: H.M. Merklinger (ed.), Progress in underwater acoustics. Plenum, NY. p. 93-102.
- DALEN, J.; ONA, E.; SOLDAL, A.V.; SAETRE, R. (1996). **Seismiske Undersokelser til havs: En Vurdering av Konsekvenser for Fisk og Fiskerier**. Fisker-Havet Bergen-Norway Havforsknings Instituttet N° 9, p. 26 .
- DALEN, J.; RAKNES, A. (1985). **Scaring Effects on Fish from Three Dimensional Seismic Surveys**. Inst. Mar. Res. Rep. FO, Bergen, Norway. Norwegian, Engl. summ. p. 8504-8505.
- ENGAS, A.; LOKKEBORG, S. (2002). **Effects of Seismic Shooting and Vessel-Generated Noise on Fish Behaviour and Catch Rates**. Bioacoustics the International Journal of Animal Sound and its Recording, 12. p 313-316.
- ENGAS, A.; LOKKEBORG, S.; SOLDAL, A.V. (1996). **Effects of Seismic Shooting on Local Abundance and Catch Rates of Cod and Haddock**. Institute of marine Research, Norway, Fisker of Havet. p. 9,117.
- GAUSLAND, I., (2000). **Impact of Seismic Surveys on Marine Life**, Statoil, Stavanger, Norway. p.903.
- GAUSLAND, I., (2003). **Seismic Surveys Impact on Fish and Fisheries**, Norwegian Oil Industry Association (OLF). p.2-42.
- GREENE, C.R. (1985). **A Pilot Study of Possible Effects of Marine Seismic Air-Gun Array Operation on Rockfish Plumes**. Prepared for the Seismic Steering Committee by Greeneridge Sciences, Inc., Santa Barbara, Calif. Resumo.
- HARRISON, P. G. E .; WALLACE A. R. (2005). **Climate Sensitivity of Marine Energy**, School of Engineering e Eletronics, University of Edinburgh, Mayfield Road, Edinburgh EH9 3JL, UK. Resumo. Disponível em: <http://www.scientificdirect.com> Acesso em: 04/08/2006.
- HIRST, A.G.; RODHOUSE, P.G. (2000). **Impacts of Geophysical Seismic Surveying on Fishing Success**. Rev. Fish Biol. Fisheries 10(1). p.113-118.
- MC CAULEY, R.D. FEWTRELL, J (2000). **Marine Seismic Survey – A Study of Environmental Implications**. Journal of Australian Petroleum Production and Exploration Association – APPEA, p. 692-708.
- MCCAULEY, R.D. (2002) **Seismic Testing in Marine National Parks**. Disponível em: <http://www.abc.net.au/rn/science/earth/stories/s587820.htm> Acesso em: 24/09/2005
- MCCAULEY, R.D.; FEWTRELL J.; POPPER, A. N. (2002). **High Intensity Anthropogenic Sound Damages Fish Ears**. J. Acoust. Soc. Am. 113 (1), January.p.640-642. p. 1005 – 1027.
- PEARSON, W.H.; SKALSKI, J.R.; MALME, C.I. (1992). **Effects of Sounds from a Geophysical Survey Device on Behavior of Captive Rockfish (*Sebastes spp.*)**. Can. J. Fish. Aquat. Sci 49(7). p. 1343-1356.
- PETER, C.; WALLACE, W. (2000). **Oil Rigs or Fishing Boats: What are the Potential Effects of Oil and Gas Development on Southern Gulf Fisheries**. SRSF. Fact Sheet 9. Resumo.
- POPPER, A.N. (2003) **Effects of Anthropogenic Sounds on Fishes**. Fisheries 28. p. 24-31.

- RICHARDSON, W.J. *et al.* (1995). **Marine Mammals and Noise**. Academic Press, San Diego. p.576.
- SAILA, S.B.; KOCIC, V.L.; MCMANUS, J.W. (1993). **Modelling the Effects of Destructive Fishing Practices on Tropical Coral Reefs**. Mar. Ecol. Prog. Ser. 94 (1). p. 51-60.
- SANTULLI, A.; MODICA, A.; MESSINA, C.; CEFFA, L.; CURATOLO, <sup>a</sup>; RIVAS, G.; FABI, G.; D'AMELIO, V.. (1999). **Biochemical Responses of European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax* L.) to the Stress Induced by Off Shore Experimental Seismic Prospecting**. Mar. Poll. Bull. 38. p.1105-1114.
- SKAAR, K. J. (2004). **Effects of Seismic Shooting on the Lesser sandeel (*Ammodytes marinus* Raitt) – a Field Study whit grab Sampling and *in situ* Video Observations**. Thesis in Fisheries Biology. Departament of Biology, University of Bergen. p. e30-33.
- SKALSKI, J.R.; PEARSON, W.H.; MALME, C.I. (1992). **Effects of Sounds from a Geophysical Survey Device on Catch-Per-Unit-Effort in a Hook-and-Line Fishery for Rockfish (*Sebastes spp.*)**. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49(7). p. 1357-1365.
- STOSKOPF, M. K. (1993). **Clinical Examination and Procedures**. In **Fish Medicine**. . (ed). W.B. Saunders Company. p. 63
- THOMSON, D.H.; LAWSON, J.W; MUECKE, A. (2001). **Proceedings of a Workshop to Develop Methodologies for Conducting Research on the Effects of Seismic Exploration on the Canadian East Coast Fishery**, Halifax, Nova Scotia, 7-8 September 2000. ESRF Rep. 139. Environ. Stud. Res. Funds, Calgary, AB. p.75.
- TURNPENNY, A.W.H. AND J.R. NEDWELL. (1994). **The Effects on Marine Fish, Diving Mammals and Birds of Underwater Sound Generated by Seismic Surveys**. FCR 089/94. Fawley Aquatic Res. labs. Ltd., Southampton, U.K. p. 52.
- WARDLE, C.S.; CARTER, T.J.; URQUHART. G.G.; JOHNSTONE, A.D.F.; ZIOLKOWSKI. A.M.; HAMPSON, G.; MACKIE, D. (2001). **Effects of Seismic Air Guns on Marine Fish**. Continetal Shelf Research,21.p.1005–1027.



## 6. CONCLUSÃO GERAL

No monitoramento realizado no litoral do Estado da Bahia, que teve como objetivo avaliar a ocorrência de eventuais efeitos da sísmica com cabo de fundo sobre os estado de higidez de peixes, não foram encontradas evidências científicas suficientes para se afirmar que os peixes da região sofreram alterações patológicas significativas em função da citada atividade.

No experimento realizado para avaliação dos efeitos agudos e crônicos da sísmica com cabo de fundo sobre peixes recifais, disparados a, no mínimo, 5 metros dos peixes confinados pode-se concluir:

- Que a exposição direta de peixes ao referido arranjo operacional de prospecção geológica não foi capaz de provocar a morte de peixes.
- Que os peixes expostos aos disparos sísmicos não sofrem alterações patológicas significativas em órgãos como brânquias ou bexigas natatória.
- Que a exposição dos animais aos disparos sísmicos provocou um pequeno aumento do grau de alterações patológicas no fígado de peixes posicionados até uma distância horizontal de 50 m em relação à fonte geradora de ondas sísmicas.
- Que, no entanto, as alterações patológicas foram de baixa intensidade, não comprometendo, no caso estudado, a sobrevivência dos peixes ao longo do tempo do experimento.
- Que nenhuma dessas alterações pode ser, de forma irrefutável, relacionada à exposição dos animais aos disparos sísmicos. Mas que, por outro lado, também não se pode descartar totalmente uma eventual relação entre as seguintes alterações patológicas hepáticas e a exposição dos peixes à sísmica: degeneração hialina, degeneração gordurosa (esteatose microvesicular), degeneração hidrópica e necrose da coagulação.
- Que os impactos citados anteriormente mostraram-se reversíveis. Menos de 30 dias após a exposição dos peixes aos disparos dos canhões de ar os indicadores da sanidade empregados haviam retornado aos padrões exibidos por peixes não expostos a tais disparos.

Em relação ao comportamento dos peixes frente aos disparos de ar comprimido, pode se concluir que, além de não causar danos físicos, os peixes têm a capacidade de se adaptar ao ruído provocado pelo disparo de ar, retornando aos padrões normais exibidos anteriormente a passagem do barco sísmico.

Devido ao grande número, e a enorme complexidade das variáveis envolvidas na atividade sísmica marinha, devem-se tomar medidas preventivas, em cada caso específico, para liberação de áreas para exploração. Afim, de proteger um dos mais importantes biomas da terra.